



“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.”

Jiménez Narváez, José Antonio y Villalba Proaño, Kimberly Pamela

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

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

Latacunga, 08 de febrero de 2022



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“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”** fue realizado por los señores **Jiménez Narváez, José Antonio y Villalba Proaño, Kimberly Pamela** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 08 de febrero de 2022



Firmado digitalmente por
**ANDRES MARCELO
GORDON GARCES**

.....
Ing. Gordón Garcés Andrés Marcelo

DIRECTOR

C. C. 180369880



Trabajo_Titulación_Jiménez_Villalba.pdf
**ANDRES MARCELO
GORDON GARCES**

.....
Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

C. C. 180369880

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Jiménez Narváez, José Antonio**, con cédula de ciudadanía N°1723483168 y **Villalba Proaño, Kimberly Pamela**, con cédula de ciudadanía N°1723685085, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“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”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 08 de febrero de 2022

Jiménez Narváez, José Antonio

C.C.: 1723483168

Villalba Proaño, Kimberly Pamela

C.C.: 1723685085



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Autorización de publicación

Nosotros, **Jiménez Narváez, José Antonio**, con cédula de ciudadanía N° 1723483168 y **Villalba Proaño, Kimberly Pamela**, con cédula de ciudadanía N° 1723685085, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“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”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 08 de febrero de 2022

Jiménez Narváez, José Antonio

C.C.: 1723483168

Villalba Proaño, Kimberly Pamela

C.C.: 1723685085

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a todas esas personas que han sido un apoyo en el transcurso de mi vida, a mis padres que han sido las personas más importantes siendo un gran ejemplo de trabajo y dedicación, que me brindaron las oportunidades necesarias para poder alcanzar mis metas y avanzar en mi desarrollo tanto académico como personal. A mis docentes y compañeros que han sabido brindarme su apoyo en los momentos que han sido cruciales para poder avanzar a pesar de las dificultades e inconvenientes que se pudieran presentar.

Jiménez Narváez, José Antonio

Dedicatoria

Este trabajo de investigación es dedicado a mi familia por brindarme su apoyo incondicional e impulsarme en cada paso que he dado, por estar presentes a pesar de las adversidades y por ayudarme cuando sentía que no podía más, en especial a mi madre por su esfuerzo enorme y por no dejarse vencer jamás, demostrándome lo fuerte que una persona puede llegar a ser por amor, a mi hermano por ser mi compañero y mi mejor amigo y nunca dejarme caer. Dedico este trabajo a mis maestros, por todo el conocimiento impartido y cada consejo brindado a lo largo de la carrera, a mis amigos por ser mi apoyo cuando me encontré lejos de casa, ayudarme, apoyarme y convertirse en mi segunda familia.

Villalba Proaño, Kimberly Pamela

Agradecimiento

Agradezco a mis Padres que han estado conmigo presentes en cada paso de este arduo camino, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento a lo largo de mi vida sin dejarme caer sin importar las circunstancias, por enseñarme la importancia del trabajo, de la dedicación y que la meta es tan importante como el camino que se recorre hasta alcanzarla. A mi familia que siempre a estado pendiente de mi, deseándome lo mejor, ayudándome cuando lo he necesitado y brindándome su amor apoyo y consejo. Gracias porque les debo lo que soy hoy en día.

Agradezco a Dios por darme la fuerza para seguir adelante y enfrentar las adversidades.

Al Ingeniero Andrés Gordón por encaminarnos en el transcurso del proyecto, dándonos su apoyo para que esta idea se vuelva realidad, al CICTE como institución por darnos las facilidades necesarias y permitir una colaboración mutua en el desarrollo del proyecto.

Agradezco a mis amigos y compañeros que compartieron conmigo esta época de estudiante convirtiendo cada logro en una ocasión de felicidad, especialmente a Jorge, Bryan que fueron un gran apoyo en esta etapa de mi vida y a Kimberly quien me impulso a siempre seguir adelante frente a cualquier adversidad convirtiéndose en un pilar fundamental en mi desarrollo personal.

Jiménez Narváez, José Antonio

Agradecimiento

Agradezco a Dios por estar a mi lado a cada paso de mi vida y no dejarme vencer jamás, a mi familia por su infinito amor y apoyo en cada etapa de mi vida, por ser mi impulso más grande para seguir adelante.

Al Ingeniero Andrés Gordón, director de tesis, por brindarnos su apoyo durante el desarrollo de este proyecto de investigación y que el mismo llegue a su culminación con éxito, al CICTE y todo su personal por ayudarnos y darnos todas las facilidades para llevar a cabo el proceso de investigación, desarrollo y puesta a prueba del proyecto.

Un agradecimiento especial a mi madre por ser mi ejemplo a seguir e inspiración, por continuar a pesar de las adversidades que se nos presentaron y mantenerse en pie, a mi hermano Kevin por acompañarme siempre en cada paso que doy y ser más que mi hermano mi amigo y padre.

Agradezco a José Jiménez por ser mi más grande apoyo durante todos estos años y no dejarme vencer, gracias por los consejos y convertirse en mi brazo derecho, mil gracias por ser la persona que más me supo apoyar y querer.

A todos mis amigos en especial a Grégori, Jorge, Klever quienes siempre estuvieron para mí incondicionalmente y se hicieron parte de mi vida como hermanos, me hicieron sentir como en casa a pesar de la distancia de mi hogar y se han convertido en mi segunda familia.

Finalmente agradezco a todos los docentes de la Universidad por los conocimientos impartidos, por las charlas sobre la vida y consejos brindados, gracias por todo el esfuerzo que realizan a diario para educar a los jóvenes profesionales del país.

Villalba Proaño, Kimberly Pamela

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Tabla de contenido.....	10
Índice de tablas	15
Índice de figuras.....	16
Resumen	20
Abstract.....	21
Aspectos Generales	22
Planteamiento del problema	22
Antecedentes	23
Justificación e importancia.....	26
Objetivos	28
<i>Objetivo General.....</i>	28
<i>Objetivos Específicos</i>	28

Hipótesis	29
VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	29
<i>Variable Independiente</i>	29
<i>Variable dependiente</i>	29
Fundamentación teórica	30
Introducción	30
Arma de Fuego.....	30
Fusil	30
<i>Fusil de Asalto</i>	31
<i>Fusil de asalto HK-33E</i>	31
Réplicas e imitaciones de armas de fuego	32
Mantenimiento de armas	33
<i>Escalones de mantenimiento de armas</i>	33
I Escalón.	34
II Escalón.	34
III Escalón.	34
Montaje y Desmontaje del fusil HK 33-E	35
Visión Artificial.....	36
<i>Aplicaciones militares</i>	36
World of Guns.	36
Mantenimiento en el Cuerpo del Ejército y Marina de Estados Unidos.	39
Detección de armas cortas con visión artificial.....	40
<i>Detección de objetos</i>	41
Red Neuronal Artificial	42
Neurona.	43

Red Neuronal Convolutacional.....	43
YOLO.	44
Diseño del prototipo y selección de componentes.....	46
Selección de componentes y software.....	47
<i>Software</i>	47
Alternativa 1: YOLO.....	48
Alternativa 2: Faster R-CNN.....	48
Alternativa 3: SSD.....	49
Selección de mejor alternativa de software.....	50
<i>Cámara</i>	51
Alternativa 1: Cámara web USB.....	51
Alternativa 2: Cámara IP.....	52
Selección de la mejor alternativa de cámara	52
<i>Sistema de procesamiento</i>	53
Alternativa 1: Computador.....	53
Alternativa 2: Jetson Nano.....	54
Jetson Xavier.....	55
Selección de la mejor alternativa a sistema de procesamiento.....	55
<i>Sensor para evaluación de Pasos</i>	56
Alternativa 1: Sensor infrarrojo.....	57
Alternativa 2: Sensor capacitivo TTP223.....	57
Selección de la mejor alternativa de sensor.....	58
<i>Tarjeta controladora</i>	58
Alternativa 1: Arduino UNO.....	59
Alternativa 2: Arduino Nano.....	59

Alternativa 3: Arduino Micro.....	60
Alternativa 4: Raspberry Pi 3B.....	60
Alternativa 5: STM32.....	61
Diseño Mecánico.....	63
<i>Réplicas del Fusil HK33E</i>	63
<i>Case del sensor</i>	65
<i>Material de manufactura</i>	66
Alternativa 1: PLA.....	67
Alternativa 2: PETG	67
Alternativa 3: ABS.....	68
Alternativa 4: Fibra de Carbono.....	69
Selección del material de manufactura	70
<i>Estructura de soporte de cámara e iluminación</i>	71
Análisis de la estructura.....	73
Desarrollo del algoritmo.....	80
<i>Entrenamiento de la red</i>	82
Parámetros de la red.	84
Electrónica del sensor.....	87
Programación Arduino	89
Diseño Preliminar	90
Implementación del sistema.....	91
Réplica del fusil.....	91
Elaboración del programa e interfaz gráfica.....	93
Implementación del sensor.....	105
Construcción de la estructura	107

Pruebas y resultados	111
Evaluación de la red YOLO para detección de las partes.....	111
<i>Reconocimiento de las partes sobre una superficie entrenada.....</i>	<i>112</i>
<i>Reconocimiento de las partes sobre una superficie no entrenada</i>	<i>114</i>
<i>Resultados de las pruebas de detección con la red YOLO</i>	<i>116</i>
<i>Precisión del sistema en la detección de las partes de la réplica fusil</i>	
<i>HK33E sobre superficies entrenadas.....</i>	<i>118</i>
<i>Precisión del sistema en la detección de las partes de la réplica fusil</i>	
<i>HK33E sobre superficies no entrenadas</i>	<i>121</i>
<i>Resultados de encuestas.....</i>	<i>123</i>
Conclusiones y recomendaciones.....	125
Conclusiones	125
Recomendaciones	128
Bibliografía.....	129
Anexos	136

Índice de tablas

Tabla 1 Selección del método de detección	50
Tabla 2 Selección de cámara	52
Tabla 3 Selección de procesamiento	55
Tabla 4 Selección del sensor	58
Tabla 5 Selección tarjeta controladora	62
Tabla 6 Selección del material de manufactura	70
Tabla 7 Precisión de la red sobre superficies en las que se entrenó	113
Tabla 8 Precisión de la red sobre superficies en las que no se entrenó	115
Tabla 9 Chi cuadrado de precisión de detección sobre superficie entrenada	119
Tabla 10 Valores esperados	119
Tabla 11 Chi cuadrado de precisión de detección sobre superficie no entrenada	122
Tabla 12 Valores esperados	122
Tabla 13 Resultados de las encuestas realizadas al personal militar	124

Índice de figuras

Figura 1 <i>Fusil de asalto</i>	31
Figura 2 <i>Fusil HK-33E</i>	32
Figura 3 <i>Nomenclatura del fusil HK33 E</i>	35
Figura 4 <i>Prueba de disparo en juego</i>	37
Figura 5 <i>World of Guns: AK-47 armada y desarmada totalmente</i>	37
Figura 6 <i>Remington Derringer en el Juego World of Guns</i>	38
Figura 7 <i>Despliegue de información en realidad aumentada</i>	40
Figura 8 <i>Ejemplo resultado de detección de perros y gatos</i>	41
Figura 9 <i>Capas de una red neuronal</i>	42
Figura 10 <i>Neurona</i>	43
Figura 11 <i>Detecciones de YOLO</i>	45
Figura 12 <i>Arquitectura del sistema</i>	46
Figura 13 <i>Tiempo de inferencia vs precisión media</i>	48
Figura 14 <i>Comparación de velocidad entre los algoritmos de detección de objetos</i>	49
Figura 15 <i>Comparación de rendimiento de los diferentes sistemas de detección</i>	50
Figura 16 <i>Cámara Web</i>	51
Figura 17 <i>Yoose IPCAM</i>	52
Figura 18 <i>Laptop Dell Inspiron 17</i>	54
Figura 19 <i>Jetson Nano</i>	54
Figura 20 <i>Jetson Xavier</i>	55
Figura 21 <i>Sensor Infrarrojo</i>	57
Figura 22 <i>Sensor capacitivo TTP223</i>	57
Figura 23 <i>Arduino UNO</i>	59
Figura 24 <i>Arduino Nano</i>	59
Figura 25 <i>Arduino Micro</i>	60

Figura 26 <i>Raspberry Pi3B</i>	60
Figura 27 <i>STM 32</i>	61
Figura 28 <i>Despiece del Fusil HK33E en el software Inventor</i>	63
Figura 29 <i>Ensamblaje del Fusil HK33E en el software Inventor</i>	64
Figura 30 <i>Réplica del Fusil HK33E impresa en 3D</i>	65
Figura 31 <i>Case del sensor para la verificación de pasos</i>	66
Figura 32 <i>Filamento PLA</i>	67
Figura 33 <i>Pieza de PETG impresa en 3D</i>	68
Figura 34 <i>Problemas comunes al imprimir ABS</i>	69
Figura 35 <i>Segmentos de fibra de carbono en el filamento</i>	70
Figura 36 <i>Estructura inicial</i>	71
Figura 37 <i>Modelo lámpara de mesa</i>	72
Figura 38 <i>Estructura final</i>	72
Figura 39 <i>Diagrama de cuerpo libre</i>	73
Figura 40 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje soporte</i>	74
Figura 41 <i>Diagrama de cuerpo libre de la sección de la prensa</i>	79
Figura 42 <i>Diagrama de Flujo del Algoritmo</i>	81
Figura 43 <i>Etiquetado de imágenes</i>	83
Figura 44 <i>Archivos generados al etiquetar las imágenes</i>	84
Figura 45 <i>Diagrama del circuito de acondicionamiento del sensor</i>	87
Figura 46 <i>Conexión circuito del sensor y arduino</i>	90
Figura 47 <i>Diseño preliminar</i>	90
Figura 48 <i>Configuraciones laminador Prusa Slicer</i>	91
Figura 49 <i>Partes del fusil replicadas en impresión 3D</i>	92
Figura 50 <i>Varilla de recuperación</i>	93
Figura 51 <i>Secciones de la Interfaz Gráfica</i>	94

Figura 52 <i>Ventanas de información</i>	95
Figura 53 <i>Error por no selección del puerto del sensor</i>	95
Figura 54 <i>Error por iniciar cámara sin conectar el sensor</i>	96
Figura 55 <i>Advertencia de no selección del proceso a realizar</i>	96
Figura 56 <i>Anclaje de la estructura de soporte</i>	97
Figura 57 <i>Hub USB sujeto a la estructura</i>	98
Figura 58 <i>Pantalla de inicio en el programa</i>	98
Figura 59 <i>Búsqueda de puertos el sensor</i>	99
Figura 60 <i>Lista de puertos del sensor detectados</i>	99
Figura 61 <i>Búsqueda cámaras disponibles</i>	100
Figura 62 <i>Lista de cámaras detectadas</i>	100
Figura 63 <i>Selección del proceso de montaje o desmontaje</i>	101
Figura 64 <i>Inicio del proceso seleccionado</i>	101
Figura 65 <i>Pantalla de finalización del proceso</i>	102
Figura 66 <i>Finalización de la cámara</i>	103
Figura 67 <i>Interfaz gráfica de usuario en ejecución</i>	104
Figura 68 <i>Pantalla de proceso completo de la interfaz gráfica</i>	105
Figura 69 <i>Case del sensor impreso en 3D</i>	106
Figura 70 <i>Circuito del sensor implementado en el case</i>	106
Figura 71 <i>Estructura del soporte para la cámara y luz</i>	107
Figura 72 <i>Aro de luz de la estructura</i>	108
Figura 73 <i>USB Hub ubicado en la estructura</i>	109
Figura 74 <i>Vista general del sistema implementado</i>	110
Figura 75 <i>Entorno de prueba de la red con iluminación natural</i>	111
Figura 76 <i>Entorno de prueba de la red con iluminación natural</i>	112
Figura 77 <i>Gráfica de efectividad de detección en superficies entrenadas</i>	116

Figura 78 *Gráfica de efectividad de detección sobre superficies no entrenadas*.....117

Figura 79 *Tabla de valores críticos de chi cuadrado*.....120

Resumen

El presente proyecto realiza el diseño del prototipo de un 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 con el fin de proveer al personal militar un método de aprendizaje y familiarización con el material bélico de manera segura previo al contacto real con el armamento, con ayuda de una réplica impresa en 3D en conjunto con un software de asistencia. Para esto se plantea el uso de redes neuronales aplicadas a la detección de objetos, se desarrolla un programa que guíe al personal militar durante el proceso de montaje y desmontaje del fusil HK-33E. El sistema basa su funcionamiento en el uso del sistema de reconocimiento de objetos YOLO V3, el cual se entrena con imágenes de las partes que componen el fusil HK-33E y de los pasos correspondientes. Una vez entrenada la red correctamente y con una detección eficiente de las partes, se elabora el algoritmo en Python, creando una interfaz gráfica que permita interactuar al usuario, este software se integra con un sensor desarrollado en base a Arduino. El sistema se desarrolla de manera que el entorno sea poco invasivo durante su uso, utilizando una estructura con una cámara e iluminación de manera que no interfiera con el trabajo realizado por el usuario. Los resultados obtenidos de las pruebas proporcionan información de un buen desempeño del sistema, con una efectividad alta de detección al trabajar en condiciones idóneas, además de generar interés en los usuarios que encontraron al sistema útil como herramienta de entrenamiento.

Palabras clave:

- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **DETECCIÓN DE OBJETOS**
- **FUSIL HK-33E**

Abstract

This project designs the prototype of a mechatronic system that provides interactive virtual assistance in the assembly and disassembly processes of the HK-33E rifle using artificial vision techniques for the accurate recognition of the parts that make up the weapon in order to provide military personnel with a method of learning and familiarization with the war material in a safe way prior to actual contact with the weapon, with the help of a 3D printed replica in conjunction with an assistance software. For this purpose, the use of neural networks applied to object detection is proposed, and a program is developed to guide military personnel during the assembly and disassembly process of the HK-33E rifle. The system bases its operation on the use of the YOLO V3 object recognition system, which is trained with images of the parts that make up the HK-33E rifle and the corresponding steps. Once the network is trained correctly and with an efficient detection of the parts, the algorithm is developed in Python, creating a graphical interface that allows the user to interact, this software is integrated with a sensor developed based on Arduino. The system is developed so that the environment is minimally invasive during use, using a structure with a camera and lighting so that it does not interfere with the work done by the user. The results obtained from the tests provide information of a good performance of the system, with a high detection effectiveness when working in ideal conditions, besides generating interest in the users who found the system useful as a training tool.

Key words:

- **COMPUTER VISION**
- **OBJECT DETECTION**
- **HK-33E RIFLE**

Capítulo I

1. Aspectos Generales

1.1. Planteamiento del problema

El proceso de aprendizaje para el personal militar, en cuanto al proceso de montaje de armas, se realiza de la forma tradicional, la cual requiere de un instructor durante el proceso, un asistente es capaz de brindar ayuda más personalizada a los estudiantes en cualquier proceso.

Pueden darse problemas dentro del desarrollo de las clases como puede ser que los aspirantes no ejecutan adecuadamente el proceso, desgaste de los elementos o falta de atención a las voces de mando, estos problemas a su vez se dan por que los estudiantes no recuerdan los métodos empleados en clase (Morales, 2018).

El proceso de montaje y desmontaje de armas es un proceso iterativo es decir que el mismo se lo realiza de forma repetitiva, debido a que un arma se la debe desarmar y armar de la misma manera, no existen varias formas de realizarlo, es por ello que este proceso se encuentra dentro del aprendizaje motor que se define como la capacidad de realizar una serie de movimientos coordinados de forma automatizada (Fisioterapia-UTN, 2017).

Para el desarrollo de habilidades motrices específicas, como procesos definidos, es necesaria una asistencia en el proceso de aprendizaje y desarrollo de la habilidad, un instructor tiene un tiempo limitado para trabajar con sus estudiantes y estos pueden llegar a requerir un apoyo acorde a su proceso personal y disponibilidad de tiempo.

Debido a lo anteriormente planteado se propone 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 de las partes que conforman el arma.

1.2. Antecedentes

El aprendizaje motor en el ser humano se define como el conjunto de procesos internos asociados a la práctica y la experiencia (UTN, 2017). La práctica de estas habilidades se las ha realizado tradicionalmente por medio de repetir el proceso una y otra vez con el objetivo de mejorar la misma.

El uso de la tecnología se ha venido implementando en el área de la educación durante los últimos años, en cuanto al desarrollo de habilidades motoras, estas requiere práctica y repetición, durante el proceso de aprendizaje de estas habilidades la asistencia puede ser de gran ayuda y puede hacer más fácil el proceso; en el área militar, se desarrollan simuladores en varios países del mundo, para recrear situaciones cercanas a la realidad de modo que ayuden al personal a entender cómo actuar en diversas circunstancias sin exponerse al peligro real de las mismas.

En la actualidad existen empresas dedicadas al desarrollo de sistemas de entrenamiento y simulación para el área militar, tal es el caso de Indra, empresa dedicada al desarrollo de sistemas para misiones, vehículos especiales, complementarios y adicionales al resto de simuladores para entrenamiento en el manejo de vehículos aéreos, terrestres y navales, además de simuladores de tiro militar y policial (INDRA).

El Centro de Armamento del Mando de Desarrollo de Capacidades de Combate (CCDC) del Arsenal Picatinny, base de Investigación y Fabricación militar estadounidense, ha desarrollado un proyecto de mantenimiento de armamento con realidad aumentada, los programas del Ejército y del Cuerpo de Marines esperan proporcionar a los soldados una nueva forma de realizar esta

actividad, el sistema cuenta con cascos de realidad aumentada que permiten al usuario disponer de información a través de ventanas de módulos, o resaltar objetos con superposiciones de texto, todo ello a través de una simulación visual. “En la actualidad, los sistemas de armas complejos se mantienen con manuales en papel o manuales digitalizados en PDF en un ordenador que sigue en una pantalla”, según Joshua Zawislak, jefe de proyecto de los entornos virtuales de prueba y formación del CCDC. Lo que se busca es mejorar la manera en que se realiza el mantenimiento del armamento a través de una interacción directa con el sistema, observando de manera real los pasos a seguir para realizar cierta actividad en el proceso de mantenimiento (Penington, 2019).

Fuera del ámbito militar se han desarrollado también proyectos con realidad aumentada que permiten mejorar el proceso mantenimiento y montaje de sistemas, uno de ellos es el caso del proyecto Arvika financiado por el Ministerio de Educación e Investigación Alemán que desarrolla este tipo de tecnología y sus aplicaciones en los campos de desarrollo, producción y servicio en las industrias automovilística y aeroespacial, actualmente se encuentra aún en desarrollo, está dirigido principalmente al montaje y mantenimiento de los coches de los aviones, los trabajadores de montaje pueden llamar a las señales virtuales a través de la voz, siguiendo fácilmente las indicaciones de cada paso (De, Guozhang, Huaiguang, & Junning, 2019).

En Septiembre de 2019 el Ejército Ecuatoriano, a través de la Dirección de Planificación y Gestión Estratégica, bajo la aprobación del Consejo de Oficiales Generales del Ejército, consideró la creación de la Dirección de Transformación y Desarrollo Militar (D.T.D.M), la que al mando del general de brigada Nelson Proaño Rodríguez, tiene como misión planificar el Ejército del futuro, a través del levantamiento de problemas institucionales y de escenarios futuros, mediante la vinculación de procesos para el desarrollo de capacidades integrados a

la I+D+i (Investigación, desarrollo e innovación), modernización y regulación de normas (Revista Ejército Nacional, 2020, pág. 71)

Los sistemas diseñados en su mayoría han sido orientados a mejorar el desempeño del soldado en el campo, sin prestar la atención al mantenimiento básico del arma como lo puede ser un fusil. En 2018 se presentó un asistente virtual para apoyar la instrucción del fusil HK-33E con la ayuda de visión artificial y realidad aumentada, de uso exclusivo para la escuela de formación de soldados "Héroes del Cenepa", ESFORSE de la ciudad de Ambato (Morales, 2018).

En forma de simulador de armas de fuego, existe un juego, el cual permite al usuario, en forma virtual, realizar montajes y desmontajes totales y parciales de distintas armas existentes, todo esto a partir de los diseños 3D de las mismas, la cual permite conocer los diferentes componentes de las armas mencionadas y el proceso de montaje de las mismas.

Dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas se han desarrollado proyectos, prototipos de sistemas en los cuales se busca dar una asistencia durante un proceso de aprendizaje o desarrollo de una habilidad, así como también al momento de la ejecución de una habilidad ya aprendida con el fin de mejorar el desempeño y facilitar el trabajo del personal involucrado. Tanto en la carrera de Ingeniería Mecatrónica como en otras pertenecientes a la Universidad de las Fuerzas Armadas se puede encontrar proyectos de este tipo como lo son "Diseño y construcción de un sistema de entrenamiento militar enfocado a polígonos de tiro mediante realidad virtual para mejorar la destreza del personal de las Fuerzas Armadas del Ecuador" (Alvaro Taipe & Guascal Vélez, 2021), el cual permite el mejoramiento de la destreza del personal militar de una forma virtual, de modo que se puede simular un entrenamiento real usando herramientas tecnológicas que ayudan en este proceso ; "Diseño e implementación de un prototipo de simulador virtual de laparoscopia para el

entrenamiento de habilidades de médicos cirujanos.” (Pérez Ortiz & Morales Antamba, 2019), que ayuda en el proceso de aprendizaje de la habilidad en laparoscopia en los médicos cirujanos; y “Diseño y construcción de un equipo robótico para la rehabilitación de extremidades superiores, para pacientes con daño cerebral adquirido (DCA).” (Ortiz Rendón & Cárdenas Arias, 2019), el cual es un sistema que brinda asistencia durante un proceso de rehabilitación con ayuda de una plataforma virtual interactiva.

1.3. Justificación e importancia

“El Siglo XXI está marcado por constantes transformaciones y avances en los ámbitos científico y tecnológico, mismos que han dinamizado el sector de la Defensa y la seguridad integral a nivel mundial” (Ministerio de Defensa, 2017, pág. 8).

Una de las siete áreas principales aplicable al soldado es precisamente el rendimiento humano y entrenamiento (Daniel, 2019) uno de los básicos para el personal armado se refiere al manejo del arma dentro de lo cual encontramos su mantenimiento básico, y limpieza, proceso que al día de hoy se sigue haciendo de una forma tradicional, es importante la modernización en el sistema de aprendizaje.

Un arma de fuego con un mantenimiento inadecuado a menudo acumulará suciedad excesiva y suciedad dentro del cañón y el receptor, lo que no solo puede obstruir el estriado y disminuir la precisión del arma de fuego, sino que también puede interferir con el funcionamiento adecuado de la acción y provocar fallos de funcionamiento potencialmente peligrosos. Además, algunas de las incrustaciones y suciedades son corrosivas en sí mismas o pueden hacer que el arma de fuego sea vulnerable a la oxidación y el desgaste y, por lo tanto, pueden provocar daños irreversibles en el arma con el tiempo (QAZ, 2020, p. 3)

En el proceso de modernización debe abarcarse las diferentes áreas que componen la institución, el proceso de aprendizaje en destrezas básicas muchas veces

se ignora tomando un mayor enfoque sobre otras áreas como lo es el entrenamiento de distintas situaciones en campo, es por eso que un sistema que ayude en el proceso de aprendizaje de esta destreza básica pero fundamental para el cuerpo militar es necesario.

Para que un cuerpo militar se encuentre a la vanguardia, la institución necesita construir un sistema de personal y educación militar con altos estándares de calidad con una doctrina moderna alineada a los escenarios, con un elevado nivel de docencia, infraestructura, equipamiento y tecnología (Revista Ejército Nacional, 2020).

Durante un proceso de aprendizaje tradicional pueden presentarse problemas debidos al desconocimiento de las normas de seguridad en la práctica, falta de atención durante la explicación o no seguir de forma sistemática el proceso de montaje, todo esto puede conllevar a errores en la práctica que pueden causar accidentes o daños en el material (Morales, 2018).

Una asistencia virtual es de gran ayuda al momento de llevar a cabo estas prácticas de modo que el aprendiz pueda guiarse de una forma adecuada durante el proceso, logrando de este modo un mejor aprendizaje del proceso y el despeje de dudas oportuno frente a problemas comunes que pueden suscitarse.

Es importante en cuanto al desarrollo tecnológico e investigación, el realizar temas afines a la seguridad y defensa, además que este corresponde al dominio académico de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE". Asimismo, es de gran importancia el desarrollo de este proyecto ya que conjuntamente con el Ing. Andrés Gordón se ha tenido acercamiento con el Mayor Pablo Albán, Director del CICTE y el Dr. Wilbert Aguilar, parte del equipo de investigación del CICTE con el fin de realizar un trabajo conjunto.

1.4. Objetivos

1.4.1. 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.

1.4.2. 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 sometiéndolo a distintas condiciones ambientales para evaluar la precisión del mismo en el reconocimiento de los componentes del fusil HK-33E.

1.5. Hipótesis

¿Un prototipo de sistema mecatrónico que use técnicas de visión artificial para el reconocimiento de partes que componen el arma brindará asistencia virtual interactiva en el proceso de montaje y desmontaje del fusil HK-33E?

1.6. Variables de la Investigación

1.6.1. Variable Independiente

Prototipo de sistema mecatrónico de asistencia virtual interactiva en los procesos de montaje y desmontaje del fusil HK-33E empleando técnicas de visión artificial.

1.6.2. Variable dependiente

Reconocimiento preciso de las partes que conforman el arma.

Capítulo II

2. Fundamentación teórica

2.1. Introducción

Para el desarrollo del sistema se parte desde la investigación de proyectos previos y métodos aplicables al mismo, en base al estado del arte se obtiene información relevante para el desarrollo del proyecto como escalones de mantenimiento, software disponible, etc. Se plantea el uso de algoritmos de detección de objetos como YOLO, F-RNN y SSD y se aclaran las bases de los mismos para una comprensión de su funcionamiento y uso.

2.2. Arma de Fuego

Un arma de fuego es un aparato mecánico que propulsa un proyectil a alta velocidad a través de un tubo como resultado de la expansión de gases que se produce al quemarse el combustible. Las armas de fuego han cambiado, pero aún se basan en forzar un proyectil, tal como una bala, a través de un cañón (Texas Parks & Wildlife, s.f., p. 1).

2.3. Fusil

El fusil (también conocido como rifle por el término en inglés) es un arma larga de fuego de hombro, con una serie de ranuras en espiral cortadas en el interior del cañón («rifling») impartiendo giro al proyectil. Algunos rifles tienen un cargador desmontable y otros tienen cargadores integrados (Naciones Unidas, 2020).

2.3.1. Fusil de Asalto

Corresponde a una subcategoría de fusiles, y representa cualquiera de los diversos fusiles militares de cargado mediante cargador y de alcance intermedio (como el AK-47 o el M16 mostrados en la Figura 1), que pueden ajustarse para el fuego automático o semiautomático (Naciones Unidas, 2020).

Figura 1

Fusil de asalto



a)



b)

Nota. a) Fusil de asalto AK-47 tomada de (Wikipedia, 2006), b) Fusil de asalto M16.

Tomada de (Armas, 1999)

2.3.2. Fusil de asalto HK-33E

El fusil HK33E, calibre 5.56mm x 45, Figura 2, es un fusil de asalto, de pequeño calibre, individual, portátil (liviana), de tiro rasante y cuyo funcionamiento es automático,

está provisto de un selector de tiro que le permite limitar su funcionamiento en semiautomático o automático.

El fusil HK33E cuenta con un cañón fijo y cierre con rodillos de bloqueo que funciona mediante el principio del retroceso de masas, por medio de este se aprovecha la fuerza viva de retroceso, la cual vence a la inercia de reposo de la masa del cierre lanzándolo hacia atrás y poniéndolo en movimiento ejecutado de esta manera el funcionamiento del sistema de automatismo al ejecutar el ciclo de operaciones que realiza el arma al efectuar el disparo, después de haber sido preparada (abastecer, aprovisionar, cargar y armar) (Guachamín Abata & Calvache Reyes, 2010, pág. 32).

Figura 2

Fusil HK-33E



Nota. Tomada de (Guachamín Abata & Calvache Reyes, 2010)

2.4. Réplicas e imitaciones de armas de fuego

“Una réplica de un arma de fuego es un dispositivo que se fabrica para parecerse a un diseño existente de un arma de fuego, pero no está destinado a disparar” (UNODC, 2019, p. 21).

“Una imitación de arma de fuego no es un arma de fuego real, pero está diseñada para parecerse exactamente o casi exactamente a un arma de fuego real” (UNODC, 2019, p. 22).

2.5. Mantenimiento de armas

El mantenimiento de armas de fuego (o cuidado de armas para abreviar) es una serie de procedimientos de mantenimiento preventivo periódico que tienen como objetivo garantizar el funcionamiento adecuado de un arma de fuego, a menudo con el uso de una variedad de herramientas especializadas y soluciones químicas. Por lo general, dicho mantenimiento lo realiza el propietario del arma de fuego utilizando métodos simples como limpiar el arma con aceite u otras soluciones de limpieza, o prácticas más sofisticadas como lubricar las partes móviles con aceite / grasa y recubrir las superficies expuestas con acabados protectores como barnizar. o azulado (QAZ, 2020, p. 1).

2.5.1. Escalones de mantenimiento de armas

Se puede definir los escalones de forma operacional, de este modo se puede distinguir que personal debe estar capacitado para los diferentes escalones de mantenimiento. Un mantenimiento de primer escalón se lleva a cabo con el fin de cumplir con tareas como limpieza, lubricación, desmontaje y reemplazo de partes menores, mientras para segundo escalón, las tareas son más especializadas, a saber, reparación, desmontaje total, conservación preventiva y el reemplazo de partes mayores.

2.5.1.1. I Escalón.

Mantenimiento efectuado por el usuario u operador que tiene a cargo el arma.

Piezas que se desmontan en el I Escalón (Bajana Rodriguez & Campuzano Caicedo, 2017):

- Cargador
- Pasador de sujeción de la culata
- Culata plegable
- Varilla y resorte recuperador
- Porta cierre
- Cierre
- Porta percutor
- Resorte el percutor
- Percutor
- Pasador de la empuñadura
- Empuñadura
- Pasador del guardamano
- Guardamanos
- Tubo cañón y cajón de mecanismos

2.5.1.2. II Escalón.

Mantenimiento efectuado por el Servicio de Armamento de las Unidades.

2.5.1.3. III Escalón.

Mantenimiento efectuado por los Servicios de Armamento Regionales o de las Grandes Direcciones a las que pertenecen las Sub-Unidades.

2.6. Montaje y Desmontaje del fusil HK 33-E

A continuación, se describe el proceso de montaje y desmontaje descrito en el Vademécum de selva del ejército ecuatoriano, la Figura 3 muestra la denominación de las partes.

Figura 3

Nomenclatura del fusil HK33 E



Nota. Tomada de (Comando de educación y doctrina del ejército, 2010)

- a) Verificar que el arma se encuentre con seguro
- b) Verificar que no exista cartuchos en la recámara
- c) Deslizar el cierre a su posición adelantada
- d) Desenganchar la correa porta fusil
- e) Extraer los pasadores de sujeción e introducirlos en los remaches o huecos de la culata
- f) Retirar la culata
- g) Retirar el pistolete o mecanismo de disparo
- h) Retirar la varilla con el resorte de recuperación
- i) Retirar el cierre

(Comando de educación y doctrina del ejército, 2010)

2.7. Visión Artificial

“La visión artificial es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar y analizar imágenes del mundo real con el fin de producir información que pueda ser tratada por una máquina” (Contaval, 2016, p. 1).

La visión artificial se encarga de tomar información en forma de imágenes o video, con el fin de realizar toma de decisiones como identificar elementos en la imagen con el fin de cumplir una tarea específica, una de sus aplicaciones es la identificación de objetos, la cual se puede llevar a cabo valiéndose de diferentes algoritmos como se mencionará más adelante.

Los sistemas de visión artificial son ampliamente usados en la industria, principalmente en procesos de control de calidad, esta disciplina junto con la realidad aumentada tiene un gran potencial en aplicaciones en distintos campos como lo puede ser la robótica o hasta la educación.

2.7.1. Aplicaciones militares

En el área militar se puede usar junto con realidad aumentada para detección de objetivos, siendo de gran ayuda en aplicaciones de campo; en conjunto con inteligencia artificial y redes neuronales, se usan para vehículos autónomos, para realizar tareas peligrosas para los seres humanos y para dar soporte a los soldados en diversas tareas.

2.7.1.1. World of Guns.

Es un juego y una enciclopedia interactiva, que simula armas de fuego reales en 3D, en este juego se puede entrar al arma y comprender su funcionamiento, cortarla a la mitad, dispararla, como muestra la Figura 4, y finalmente desarmarla y volverla a armar (contrarreloj, si lo prefiere) . World of Guns ha sido usado como ayuda de

aprendizaje por armadores y personal de cumplimiento de la ley y militar (STEAM, 2016).

Figura 4

Prueba de disparo en juego.



Nota. Tomada de (STEAM, 2016)

El software puede utilizarse como fuente de referencia y enciclopedia interactiva sobre armas de fuego, y como juego de puzzle casual con el objetivo de desmontar y montar modelos en la secuencia correcta y en el menor tiempo posible, como muestra la Figura 5;Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Figura 5

World of Guns: AK-47 armada y desarmada totalmente.

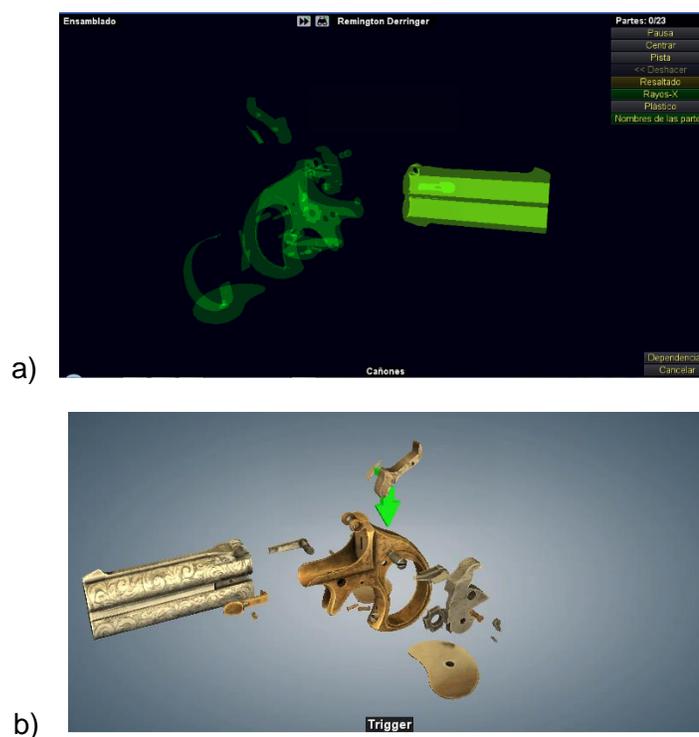


Nota. Tomado de (Lakritz, World of Guns: Gun Disassembly Review, 2016)

El jugador tiene el control total de la cámara, junto con opciones de visualización adicionales que le permiten explorar el diseño mecánico interno de la pieza. Entre ellas se encuentran una vista de rayos X de varias capas, Figura 6, el modo "corte de entrenador" y varios ajustes de cámara lenta. Dependiendo del modo de juego, el jugador debe aprender el funcionamiento correcto del arma o realizar su desmontaje o montaje. Los modos de juego están dispuestos en orden de complejidad creciente, incluyendo el desmontaje del arma, el desmontaje completo del mecanismo y, por último, el desmontaje y montaje contrarreloj y/o con penalizaciones por movimientos incorrectos (Lakritz, Launch Party, 2016).

Figura 6

Remington Derringer en el Juego World of Guns.



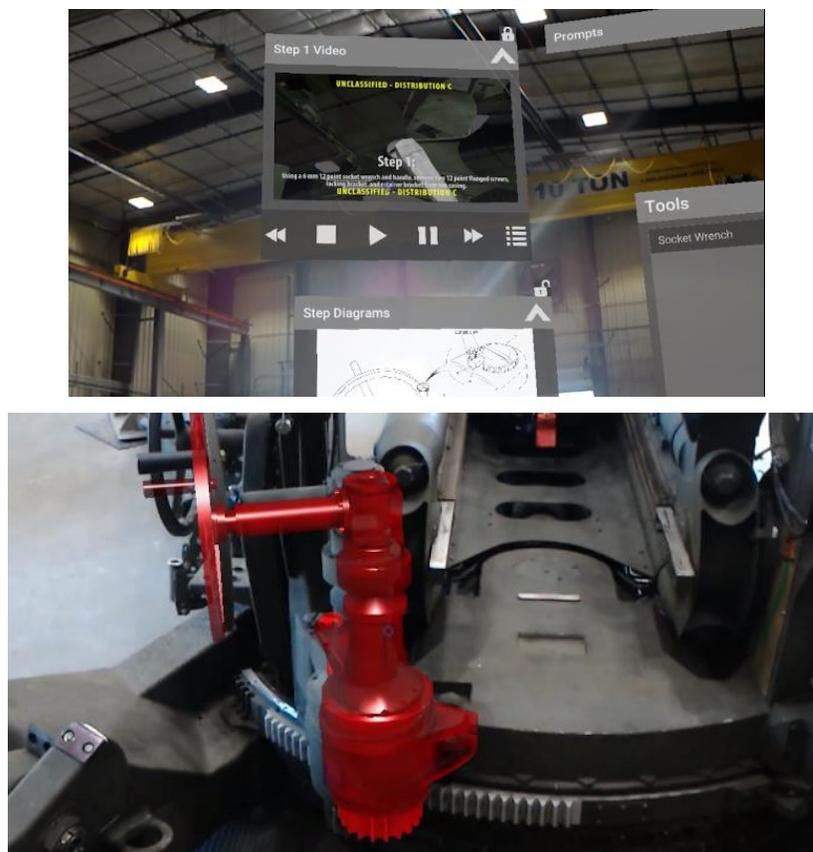
Nota. a) Vista de rayos x, b) Armado guiado. Tomada de World of Guns: Gun Disassembly, Facebook Games.

2.7.1.2. Mantenimiento en el Cuerpo del Ejército y Marina de Estados Unidos.

El Centro de Armamento del Mando de Desarrollo de Capacidades de Combate (CCDC) del Arsenal Picatinny, base de Investigación y Fabricación militar estadounidense, ha desarrollado un proyecto de mantenimiento de armamento con realidad aumentada (Figura 7), los programas del Ejército y del Cuerpo de Marines esperan proporcionar a los soldados una nueva forma de realizar esta actividad, el sistema cuenta con cascos de realidad aumentada que permiten al usuario disponer de información a través de ventanas de módulos, o resaltar objetos con superposiciones de texto, todo ello a través de una simulación visual, como lo muestra. “En la actualidad, los sistemas de armas complejos se mantienen con manuales en papel o manuales digitalizados en PDF en un ordenador que sigue en una pantalla”, según Joshua Zawislak, jefe de proyecto de los entornos virtuales de prueba y formación del CCDC. Lo que se busca es mejorar la manera en que se realiza el mantenimiento del armamento a través de una interacción directa con el sistema, observando de manera real los pasos a seguir para realizar cierta actividad en el proceso de mantenimiento (Penington, 2019).

Figura 7

Despliegue de información en realidad aumentada.



Nota. Tomada de (Penington, 2019)

2.7.1.3. Detección de armas cortas con visión artificial

Dentro de las aplicaciones con visión artificial, referentes a armamento, una aplicación común es la detección de armas cortas en video con el fin de robustecer los sistemas de seguridad existentes; este tipo de sistemas se puede ver en proyectos de investigación como el proyecto de “Desarrollo de un sistema de detección de armas de Fuego cortas en el monitoreo de videos de cámaras de seguridad” (Orlando, 2018), el cual obtuvo resultados que validaron su alta precisión de detección. En la universidad

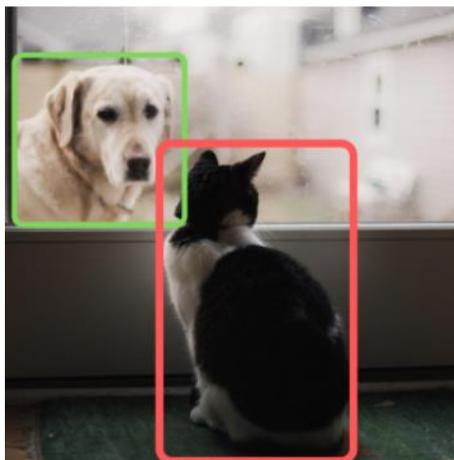
católica de Colombia, se llevó a cabo un trabajo similar, donde desarrolló un sistema para la detección de armas de mano con el fin de optimizar las labores de monitoreo, obteniendo resultados mayores a un sesenta por ciento en cuanto a métricas de desempeño. (Criollo & Rondón, 2019)

2.7.2. Detección de objetos

La detección de objetos corresponde a una de las aplicaciones de la visión artificial, la cual tiene como objetivo determinar si un objeto está presente en una imagen, y en caso de estarlo determina el lugar donde se encuentra obteniendo las coordenadas de la imagen en donde se encuentra y una caja (bounding box) la cual delimita el espacio en la imagen donde se encuentra el objeto como se ilustra en la Figura 8 . Al hablar de detección de objetos, cabe recalcar que la palabra se refiere a cualquier elemento que pueda ser representado visualmente, cuyas características físicas no presentan un rango amplio de variación. (Jesús, 2020)

Figura 8

Ejemplo resultado de detección de perros y gatos



Nota. Tomada de (Na8, Modelos de Detección de Objetos, 2020)

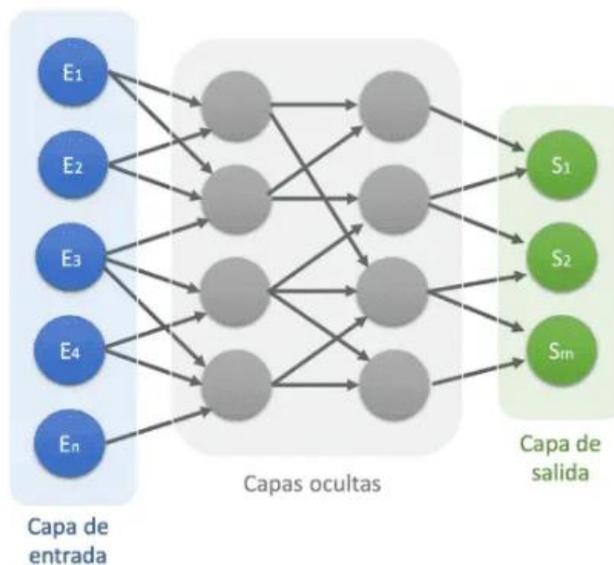
La detección de objetos es un problema computacionalmente hablando ya que a diferencia de los humanos que pueden reconocer objetos con solo un vistazo, una máquina no puede hacerlo del mismo modo, es por eso que para solucionar este problema se usa Redes neuronales convolucionales.

2.7.2.1. Red Neuronal Artificial

Una red neuronal es un conjunto de neuronas que se encuentran conectadas entre sí, cada uno de estos enlaces tiene asociado un valor que se denomina peso, estos valores son los que determinan cuanto influye una neurona sobre otras. Las neuronas se agrupan en capas (Figura 9), teniendo como resultado una capa de entrada, una capa de salida y n capas ocultas.

Figura 9

Capas de una red neuronal



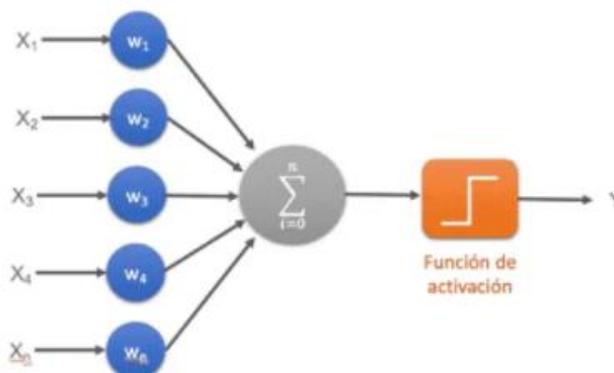
Nota. Tomada de (Calvo, 2017)

2.7.2.2. Neurona.

Es la unidad básica de una red neuronal, recibe valores de entrada asociados a un peso y arroja una salida dependiendo de una función de activación, esta última se encarga de mantener los valores de salida dentro de un rango determinado (Calvo, 2017), es decir que una neurona tiene una función similar a una función matemática como se ilustra en la Figura 10.

Figura 10

Neurona



Nota. Tomada de (Calvo, 2017)

2.7.2.3. Red Neuronal Convolutiva.

Una red neuronal convolutiva o CNN por sus siglas en inglés, es un tipo de red neuronal con aprendizaje supervisado, la cual pretende recrear la forma en la que el cerebro procesa imágenes imitando el córtex visual del ojo humano, de modo que identifica características en la entrada a través de diferentes capas que se especializan en tareas específicas, cada una más compleja que su antecesora partiendo de detectar líneas, curvas hasta llegar a siluetas, rostros, etc. (Na8, ¿Cómo funcionan las Convolutional Neural Networks? Visión por Ordenador, 2018)

Básicamente, se hace el uso de kernels diferentes en cada capa con el fin de aplicar diferentes filtros a las imágenes de entradas para así obtener las características de las mismas. La imagen se divide en campos receptivos donde se aplican estos filtros y se extraen características de la imagen como pueden ser líneas verticales o vértices por ejemplo, posteriormente se realiza un paso denominado pooling que consiste en reducir la dimensión de esas características (features) extraídas, manteniendo la información más importante, este proceso se repite en cada una de las capas y al final, se obtiene un grupo de nodos, los cuales clasifican el resultado. (Na8, ¿Cómo funcionan las Convolutional Neural Networks? Visión por Ordenador, 2018)

2.7.2.4. YOLO.

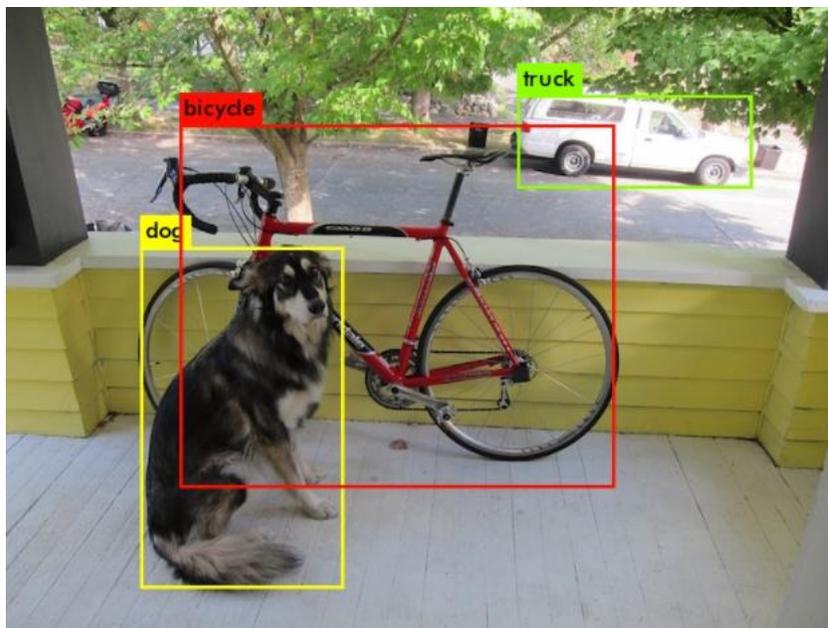
YOLO, que proviene del inglés You Only Look Once, es un algoritmo de código abierto que detecta y clasifica objetos en tiempo real, esto lo hace por medio del uso de Deep learning y CNN, este algoritmo está bien optimizado ya que puede procesar imágenes a una velocidad que le permite ser el más rápido actualmente, que dependiendo la tarjeta gráfica, puede llegar a alcanzar hasta los 90 fps (con Nvidia Titan X), superiores a los 30fps que es el estándar actual en video.

Su funcionamiento, en forma básica, consiste en procesar imágenes a través de una CNN para extraer características pasándola a escala de grises, detectando bordes, etc. Posteriormente el algoritmo trabaja como un clasificador de clases, encerrando los objetos en una caja y evita varias cajas para un mismo objeto reduciendo las cajas a la que mejor ubique el objeto, obteniendo resultados como el de la Figura 11.

Se debe tener ciertas consideraciones en cuenta al usar el algoritmo como que puede presentar inconvenientes al detectar varios objetos del mismo tipo que estén demasiado cerca u objetos muy pequeños frente a las grandes áreas en las que se realiza la clasificación. (330 Ohms, 2020)

Figura 11

Detecciones de YOLO



Nota. Tomada de (Redmon, 2018)

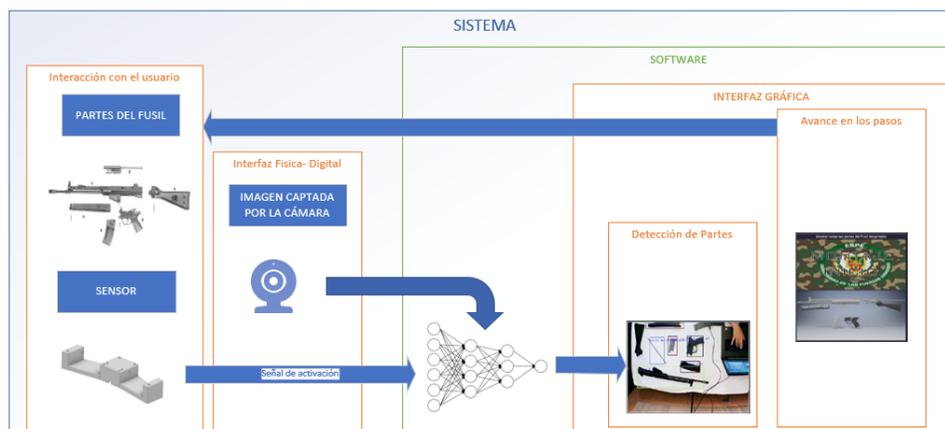
Capítulo III

3. Diseño del prototipo y selección de componentes

Para iniciar con el diseño del prototipo es necesario analizar las posibilidades que permitirán llevar a cabo el proyecto, para esto se toma a consideración el funcionamiento del sistema y por consiguiente se establecen parámetros que se evaluarán a continuación para los elementos que se adaptan mejor a las necesidades del prototipo. Las consideraciones para el diseño son una estructura que permita fijar la cámara de manera cómoda sin limitar el manejo del fusil y a su vez proporcione iluminación para el trabajo en ambientes oscuros o eliminar sombras, el reconocimiento acertado de elementos que componen el fusil por medio de software de reconocimiento de objetos en tiempo real, el uso de un dispositivo para realizar la evaluación de los pasos realizados durante el proceso de montaje y desmontaje, la Figura 12 nos brinda una idea de la arquitectura que el sistema tendrá.

Figura 12

Arquitectura del sistema



Para la fase de diseño se parte de la selección de componentes empleando una Matriz de Pugh, también conocida como Matriz selección de conceptos de Pugh, partiendo del software, el cual proporciona criterios a considerar para continuar con la selección del hardware, posteriormente se seleccionaron los componentes relacionados al desarrollo del sensor para continuar con lo referente al diseño mecánico, siendo este material de manufactura de la réplica.

Para la matriz de selección de conceptos se deben identificar los posibles criterios de selección, que básicamente son las necesidades que se tienen para con los componentes, estos van ubicados en la parte izquierda de la matriz. Se especifican también los conceptos que son las alternativas a escoger y que serán evaluados de forma relativa en base a los criterios, con “mejor que” (+), “igual a” (0), “peor que” (-).

3.1. Selección de componentes y software

3.1.1. Software

Uno de los parámetros más importantes a considerar es el software que se usará, haciendo referencia al método de detección en conjunto con su lenguaje de programación. Entre los métodos de detección se consideraron tres métodos, todos funcionan a través de una red neuronal convolucional pero la forma en la cual trabajan es lo que sienta la diferencia, la selección tomada fue YOLO, como se puede ver en la Tabla 1, tiene una velocidad mayor respecto a SSD y más respecto a faster R-CNN, las tres redes pueden usarse por medio del lenguaje Python el cual es el de mayor importancia ya que este al ser Open Source, también cuenta con varias librerías que permiten hacer interfaces gráficas de forma gratuita a diferencia de C++ que en este aspecto es más limitado. Por último, un factor importante a considerar fue la disponibilidad de información y al YOLO ser actualmente el método más empleado para

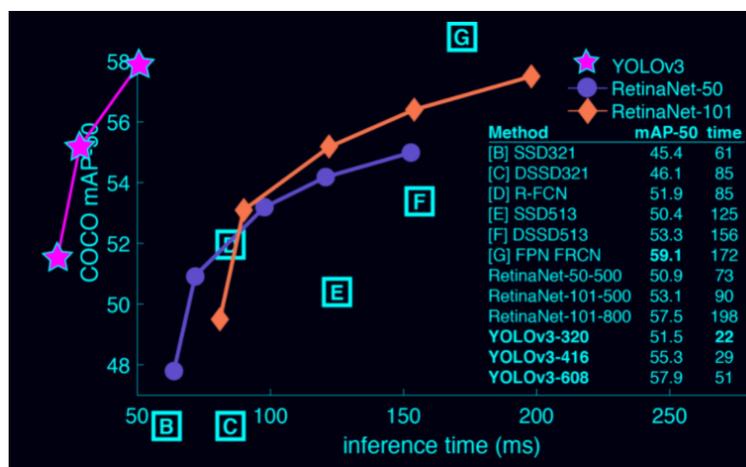
la detección de objetos, es el que más disponibilidad de información tiene además de un soporte grande por parte de su comunidad en la red.

3.1.1.1. Alternativa 1: YOLO.

YOLO, el sistema de detección de objetos en tiempo real es uno de los mejores actualmente lo cual se puede corroborar en la información suministrada por la página oficial comparando varios sistemas de detección considerando su precisión media respecto a su tiempo como se ilustra en la Figura 13.

Figura 13

Tiempo de inferencia vs precisión media



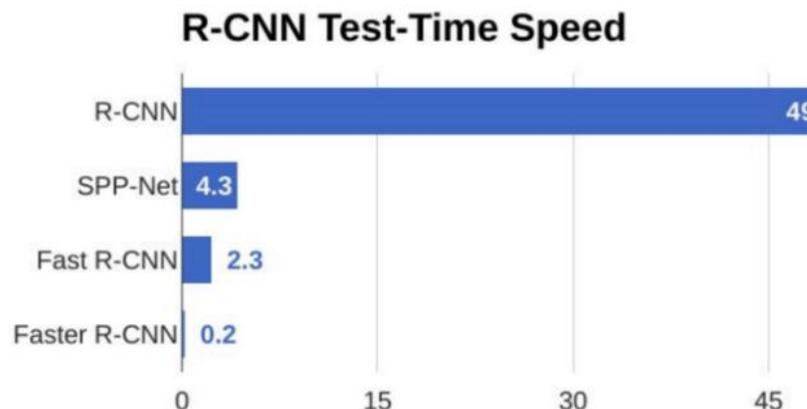
Nota. Tomada de (Redmon, 2018)

3.1.1.2. Alternativa 2: Faster R-CNN.

R-CNN es otro sistema de detección de objetos, el cual corresponde a la versión más rápida respecto a sus predecesores CNN que a diferencia de estos no realiza una búsqueda para proponer regiones, lo cual consume mucho tiempo, faster RCNN utiliza un algoritmo que permite a la red aprender estas regiones, lo cual lo vuelve más rápido como se puede apreciar en la Figura 14.

Figura 14

Comparación de velocidad entre los algoritmos de detección de objetos



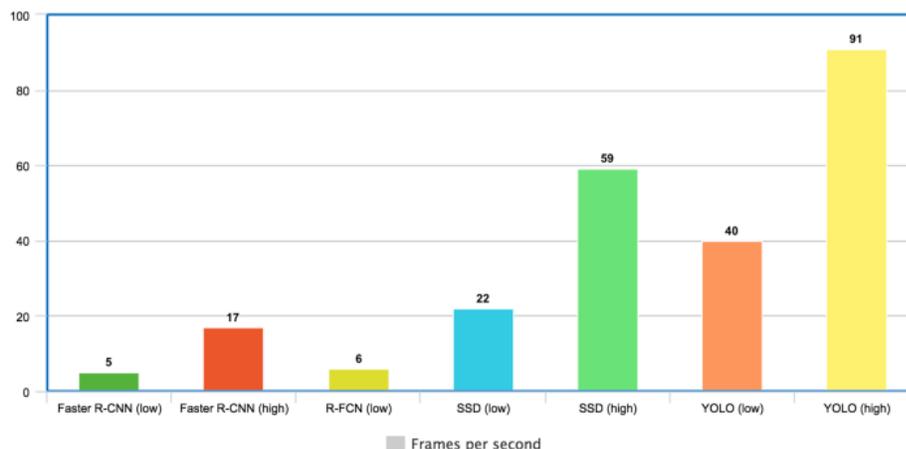
Nota. Tomada de (Ghandi, 2018)

3.1.1.3. Alternativa 3: SSD.

El single shot detector en funcionalidad es muy similar a YOLO al trabajar de modo que encuentra los objetos en una única pasada a diferencia de faster RCNN y sus predecesores, los cuales deben realizar dos pasos siendo uno para determinar las regiones y otro para la detección, sin embargo, estos suelen tener una mayor precisión sacrificando la velocidad que es un elemento de interés para una aplicación en tiempo real. En la Figura 15 se puede apreciar una comparación en el rendimiento de los sistemas de detección mencionados, sin embargo, esta información es solo una guía ya que los datos usados corresponden a diferentes pruebas no a pruebas destinadas a la comparación de los 3 métodos de detección.

Figura 15

Comparación de rendimiento de los diferentes sistemas de detección



Nota. Tomada de (Ichi, 2020)

3.1.1.4. Selección de mejor alternativa de software.

Tabla 1

Selección del método de detección

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS					
	YOLO		R-CNN		SSD	
<i>Open source?</i>	Si	+	Si	+	Si	+
<i>Lenguaje de programación</i>	Python, C++	+	Python	0	Python	0
<i>Velocidad</i>	Alta	+	Baja	-	Alta	+
<i>Estructura</i>	CNN	0	CNN	0	CNN	0
<i>Disponibilidad de información</i>	Alta	+	Media	0	Media	0
<i>Suma +</i>	4		1		2	
<i>Suma -</i>	0		1		0	
<i>Suma 0</i>	1		3		3	
<i>Total</i>	4		0		2	
<i>Evaluación</i>	Selección		No		No	

3.1.2. Cámara

Para la cámara se delimitó la selección a dos alternativas, las cuales se pueden manejar desde Open CV con una fácil conexión a un ordenador ya que existen otro tipo de cámaras que se ajustan a los otros parámetros de interés para esta aplicación, pero su conexión es un limitante muy fuerte para la misma. Estas opciones son una cámara web USB o una cámara IP, las cuales se pueden conectar al ordenador por medio de USB o al estar en una misma red con el computador, la comunicación vía USB es una ventaja al no depender de una red para conectarse al computador, aunque una cámara IP pueda conectarse a través de un cable de red, considerando esto la selección tomada corresponde a la cámara web USB Tabla 2.

3.1.2.1. Alternativa 1: Cámara web USB.

Una cámara web Figura 16 tiene una ventaja grande al ser compatible con cualquier computador por medio de la conexión por puerto USB, además de no requerir alimentación externa. Las cámaras web se pueden encontrar con facilidad en el mercado y existen cámaras web con una apertura mayor a la normal, la cual permite enfocar un área mayor.

Figura 16

Cámara Web



Nota. Tomado de (DHgate, s.f.)

3.1.2.2. Alternativa 2: Cámara IP.

Una cámara IP es una buena alternativa en cuanto a que permite una conexión con el computador por medio de la red, cuenta con un sistema PTZ que permite su movimiento en las tres direcciones, en la Figura 17 se puede apreciar su estructura física.

Figura 17

Yoose IPCAM



Nota. Tomado de (zoominformática, s.f.)

3.1.2.3. Selección de la mejor alternativa de cámara

Tabla 2

Selección de cámara

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS			
	Cámara web USB		Cámara IP	
Alimentación	USB DC	+	Adaptador 120v AC	-
Resolución	720p	-	1080p	+
Visión Nocturna	No	0	Si	0
Comunicación	USB	+	Red WiFi, cable de red	-
Angulo del lente	75.7°	+	75°	0

CONCEPTOS				
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Cámara web USB		Cámara IP	
<i>Disponibilidad en el país</i>	Alta	+	Alta	+
<i>Suma +</i>	4		2	
<i>Suma -</i>	1		2	
<i>Suma 0</i>	1		2	
<i>Total</i>	3		0	
<i>Evaluación</i>	Selección		No	

3.1.3. Sistema de procesamiento

En este apartado se considera la posibilidad de usar un sistema de procesamiento más compacto, sin embargo, existen limitantes para su uso. El reconocimiento de imágenes a través de la red YOLO depende de la capacidad de procesamiento del dispositivo, tarjetas como Jetson Nano o Jetson Xavier de Nvidia, son elaboradas para el uso en aplicaciones a pequeña escala de inteligencia artificial, sin embargo YOLO es un sistema demandante, estas tarjetas a pesar de poder correr aplicaciones de YOLO, lo hacen con una tasa de refresco no muy diferente a una computadora que corre la red sobre su CPU, por lo tanto no aporta un beneficio sólido el sobreponer esta alternativa a un computador, en la Tabla 3, se presentan las especificaciones de las alternativas de selección.

3.1.3.1. Alternativa 1: Computador.

Un computador puede variar bastante respecto a su capacidad para este caso se considera una laptop Dell Inspiron 17 con procesador Core i7 de sexta generación (Figura 18), para este caso el programa correrá sobre el procesador sin embargo el rendimiento del programa puede incrementar al usar una tarjeta gráfica.

Figura 18

Laptop Dell Inspiron 17



Nota. Tomado de (Hinun, 2018)

3.1.3.2. Alternativa 2: Jetson Nano.

Jetson Nano es kit de desarrollo pequeño como se observa en la Figura 19 para aplicaciones de visión artificial en sistemas embebidos.

Figura 19

Jetson Nano



Nota. Tomado de (Nvidia, s.f.)

3.1.3.3. Jetson Xavier.

Jetson Xavier es kit de desarrollo pequeño para aplicaciones de visión artificial en sistemas embebidos, permite correr redes neuronales y aplicaciones de inteligencia artificial, se diferencia de Jetson Nano en su capacidad de procesamiento, dimensiones, etc., las diferencias físicas se pueden observar en Figura 20.

Figura 20

Jetson Xavier



Nota. Tomado de (Nvidia, s.f.)

3.1.3.4. Selección de la mejor alternativa a sistema de procesamiento.

Tabla 3

Selección de procesamiento

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Computador	CONCEPTOS				
		Jetson Nano	Jetson Xavier			
GPU	AMD Radeon R5 M335	0	128-core Maxwell	0	512-core Volta GPU with Tensor Cores	+
CPU	Intel Core i7-6500U	+	Quad-Core ARM A57	0	8-core ARM v8.2 64-bit CPU	0

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS					
	Computador	Jetson Nano		Jetson Xavier		
Memoria	16GB-64bit DDR4	+	4 GB 64-bit	-	32GB 256-Bit LPDDR4x	+
Disponibilidad	Alta	+	Baja	-	Baja	-
Suma +	3		0		2	
Suma -	0		2		1	
Suma 0	1		2		1	
Total	3		-2		1	
Evaluación	Selección		No		No	

3.1.4. Sensor para evaluación de Pasos

Con el fin de optimizar el programa se optó por usar un "interruptor" el cual indique que se desea realizar la evaluación del paso, por lo tanto se considerando que se usara un dispositivo en el cual se usen las dos manos para activar, de modo que las manos no interfieran en la imagen captada por la cámara, se consideraron dos opciones, usar sensor capacitivo o infrarrojo, si bien el sensor capacitivo se puede ubicar de manera más fácil, es necesario acercarse lo suficiente al área de detección la cual es pequeña para el módulo comercial de Arduino TTP223, por otra parte usar un sensor infrarrojo requiere un emisor y un receptor pero el área de censado se puede ajustar acorde a las necesidades siempre y cuando sea en línea recta. En cuanto a requerimientos de la tarjeta para los sensores son los mismos por lo que ninguno representaría un inconveniente en la implementación, el dispositivo infrarrojo al ser emisor y receptor del tamaño de leds convencionales, se puede aprovechar las pequeñas dimensiones para ajustar el case del dispositivo a estas necesidades siendo esta la opción más acertada para el dispositivo como se puede ver a más detalle en la Tabla 4.

3.1.4.1. Alternativa 1: Sensor infrarrojo.

El sensor infrarrojo emite una luz direccional infrarroja desde un emisor y recibe la señal en un receptor de modo que cuando la señal se interrumpe el estado del receptor cambia, lo cual lo vuelve versátil en cuanto a la distancia que pueden ubicarse entre ellos ya que puede variar acorde a las necesidades. Por lo tanto, este sensor consta de dos elementos como se puede apreciar en el Figura 21.

Figura 21

Sensor Infrarrojo



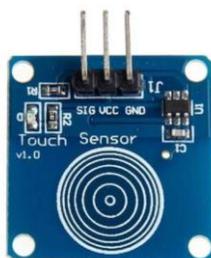
Nota. Tomado de (Massimi, s.f.)

3.1.4.2. Alternativa 2: Sensor capacitivo TTP223.

El sensor capacitivo TTP223 viene como un módulo para Arduino con un área pequeña destinada al sensor la cual realiza la detección como se observa en la Figura 22, pero para que esto suceda hay que acercarlo lo suficiente la mano a la superficie

Figura 22

Sensor capacitivo TTP223



Nota. Tomado de (Unit electronics, s.f.)

3.1.4.3. Selección de la mejor alternativa de sensor.

Tabla 4
Selección del sensor

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS			
	Sensor Infrarrojo		Sensor capacitivo TTP223	
<i>Dimensiones (mm)</i>	3mm de diámetro x 9mm	+	15x11mm	-
<i>Área de sensado</i>	Ajustable en línea recta	+	Área del sensor	-
<i>Voltaje de operación</i>	1.2 a 1.5v	0	2 - 5.5V	0
<i>Corriente máxima</i>	35 μA	0	1.5 μA	0
<i>Compatibilidad con Arduino</i>	Si	0	Si	0
<i>Forma de sensado</i>	Interrupción del infrarrojo	+	Contacto con el sensor	+
	1 Pin Digital		1 Pin Digital	
<i>Pines necesarios</i>	5V	0	5V	0
	GND		GND	
<i>Precio</i>	\$0.40	+	\$2.40	-
<i>Disponibilidad en el país</i>	Alta	+	Alta	+
<i>Suma +</i>	5		2	
<i>Suma -</i>	0		3	
<i>Suma 0</i>	4		4	
<i>Total</i>	5		-1	
<i>Evaluación</i>	Selección		No	

3.1.5. Tarjeta controladora

Para la tarjeta controladora se consideraron 5 opciones de las cuales las características más importantes a considerar son dimensiones, programación voltaje de operación y compatibilidad con otros dispositivos, para este caso las opciones más aptas son Arduino Nano, Arduino Micro y Stm32, ya que las otras 2 son de mayor dimensión e incrementaría el tamaño del dispositivo innecesariamente. Arduino Nano es el más acertado como se detalla en la

Tabla 5, para esta aplicación ya que sus especificaciones son las adecuadas para los requerimientos del uso de los sensores infrarrojos (2) y su comunicación con el

computador lo cual se puede realizar por el puerto serial que a su vez proporcionara alimentación al circuito sin necesidad de usar fuentes externas.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS									
	Arduino Uno		Arduino Nano		Arduino Micro		Raspberry Pi 3B		Stm32	
<i>En lenguaje de programación</i>	Basado en C++	0	Basado en C++	0	Basado en C++	0	Python/C++	0	C++	0
<i>Dimensiones (mm)</i>	53,3 x 68,6	-	18 x 45	+	18x48	+	85 x 56	-	53 x 85	-
<i>Entradas/Salidas analógicas</i>	6	0	8	0	12	0	0	0	1	1
<i>Entradas/Salidas digitales</i>	14	+	14	+	20	+	40	0	2	2
<i>Voltaje de operación</i>	5	+	5	+	5	+	5	+	3	3
<i>Voltaje de alimentación</i>	7 a 12v	0	7 a 12v	0	7 a 12v	0	5 V	+	2 a 3	2
<i>Velocidad de comunicación</i>	16MHz	0	16MHz	0	16MHz	0	1,2GHz	+	48MHz	48M
<i>Compatibilidad con otros dispositivos</i>	Alta	+	Alta	+	Alta	+	Alta	+	Me	Me
<i>Precio</i>	\$10.00	0	\$8.00	+	\$10.00	0	\$67.00	-	\$7	\$7
<i>Disponibilidad en el país</i>	Alta	+	Alta	+	Media	0	Alta	+	Al	Al
<i>RAM</i>	2KB	0	2KB	0	2.5KB	+	1GB	+	10	10
<i>Suma +</i>	4		6		5		6			
<i>Suma -</i>	1		0		0		2			
<i>Suma 0</i>	6		5		6		3			
<i>Total</i>	3		6		5		4			
<i>Evaluación</i>	No		Selección		No		No			

3.1.5.1. Alternativa 1: Arduino UNO.

Arduino UNO Figura 23 es la tarjeta controladora más común en el mercado, la cual permite conectar sensores y actuadores, aunque en cuanto a dimensiones estas son de 53,3 x 68,6 mm que constituyen un espacio considerable en el case del sensor.

Figura 23

Arduino UNO



Nota. Tomado de (Arduino, s.f.)

3.1.5.2. Alternativa 2: Arduino Nano.

Arduino Nano Figura 24 es una tarjeta controladora similar a Arduino UNO con variaciones en su número de puertos, voltaje, etc.

Figura 24

Arduino Nano



Nota. Tomado de (Arduino, s.f.)

3.1.5.3. Alternativa 3: Arduino Micro.

Arduino Micro (Figura 25) es en dimensiones muy similar al Arduino Nano, sus diferencias mayormente radican en el apartado técnico como se podrá ver en la selección en la Tabla 5.

Figura 25

Arduino Micro



Nota. Tomado de (Arduino, s.f.)

3.1.5.4. Alternativa 4: Raspberry Pi 3B.

Raspberry Pi es una placa procesadora similar a un pequeño computador, Figura 26, el cual es capaz de realizar tareas más complejas que las placas Arduino y que a su vez cuenta con entradas y salidas.

Figura 26

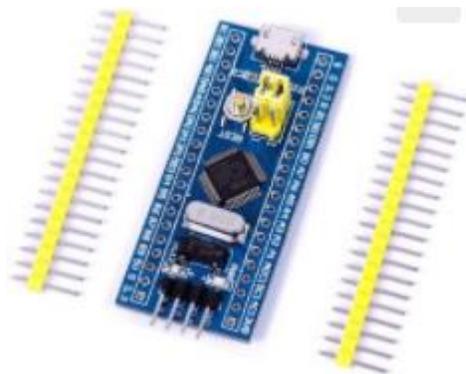
Raspberry Pi3B



Nota. Tomado de (Raspberry, s.f.)

3.1.5.5. Alternativa 5: STM32.

El STM32 (Figura 27) es una tarjeta controladora similar a Arduino cuyas diferencias del mismo modo que en los casos anteriores radican principalmente en el apartado técnico.

Figura 27*STM 32*

Nota. Tomado de (avelectronics, s.f.)

Tabla 5

Selección tarjeta controladora

CONCEPTOS										
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Arduino Uno		Arduino Nano		Arduino Micro		Raspberry Pi 3B		Stm32 (F103)	
<i>Lenguaje de programación</i>	Basado en C++	0	Basado en C++	0	Basado en C++	0	Python/C++	0	C++	0
<i>Dimensiones (mm)</i>	53,3 x 68,6	-	18 x 45	+	18x48	+	85 x 56	-	53 x 22	0
<i>Entradas/Salidas analógicas</i>	6	0	8	0	12	0	0	0	10	0
<i>Entradas/Salidas digitales</i>	14	+	14	+	20	+	40	0	26	0
<i>Voltaje de operación</i>	5	+	5	+	5	+	5	+	3.3	0
<i>Voltaje de alimentación</i>	7 a 12v	0	7 a 12v	0	7 a 12v	0	5 V	+	2 a 3,6 V	+
<i>Velocidad de comunicación</i>	16MHz	0	16MHz	0	16MHz	0	1,2GHz	+	48MHz	+
<i>Compatibilidad con otros dispositivos</i>	Alta	+	Alta	+	Alta	+	Alta	+	Media	-
<i>Precio</i>	\$10.00	0	\$8.00	+	\$10.00	0	\$67.00	-	\$7.00	+
<i>Disponibilidad en el país</i>	Alta	+	Alta	+	Media	0	Alta	+	Alta	+
<i>RAM</i>	2KB	0	2KB	0	2.5KB	+	1GB	+	10KB	+
<i>Suma +</i>	4		6		5		6		5	
<i>Suma -</i>	1		0		0		2		1	
<i>Suma 0</i>	6		5		6		3		5	
<i>Total</i>	3		6		5		4		4	
<i>Evaluación</i>	No		Selección		No		No		No	

3.2. Diseño Mecánico

3.2.1. Réplicas del Fusil HK33E

Para el desarrollo de las réplicas primero se toma en cuenta las piezas a diseñar, el fusil HK33E se desmonta en 7 piezas para el Escalón 1, las cuales comprenden cierre, culata, pistolete, varilla de recuperación, cañón, guardamanos y cargador como se aprecia en la Figura 28, los cuales son fáciles de diferenciar debido a sus formas, lo cual es conveniente para el sistema.

Figura 28

Despiece del Fusil HK33E en el software Inventor



La réplica no será un modelo funcional debido a su finalidad la cual corresponde a un primer contacto con el fusil, el fin de la réplica es obtener un modelo que estéticamente sea igual al original, independientemente de su funcionalidad ya que para este caso no es un aspecto relevante, se mantendrán móviles partes como seguro, gatillo y resorte de la varilla, con este fin se usó un software de diseño 3D como lo es Autodesk Inventor 2019 en el cual se realizaron los modelos Figura 29 tomando medidas de un ejemplar real gracias a la ayuda del CICTE.

Con los modelos 3D se realizó el ensamble de la réplica para realizar ajustes respecto al modelo de reproducción que se llevaría a cabo, para este caso la impresión 3D es la opción acertada debido a su versatilidad ya que permite imprimir cualquier pieza independientemente de su geometría sin necesidad de llevar a cabo un proceso más sofisticado y complejo como los métodos tradicionales de manufactura.

Figura 29

Ensamblaje del Fusil HK33E en el software Inventor



Para el proceso de impresión 3D se realizaron adecuaciones a los modelos 3D para reproducirlos por medio de manufactura aditiva, estas adecuaciones corresponden a la variación de medidas por la tolerancia que conlleva el proceso. En la primera capa, la cual se asienta sobre la cama de impresión siempre existe una variación a lo largo del perímetro de la figura, lo cual se debe ajustar en el software laminador a usarse, el proceso conlleva una tolerancia de 0.3 mm respecto al modelo digital por lo cual se deben ajustar estas dimensiones antes de llevarlo al proceso de impresión. Para obtener el código G de las piezas se usó el laminador Prusa Slicer y debido a las dimensiones de la impresora se seccionaron las piezas cuya dimensión sobrepasaba el área de impresión de la maquina disponible que para este caso era un área de 220x220x300mm.

Una vez terminado el proceso de impresión se lijaron las piezas en las secciones de acople de una con otra para eliminar fallas en las regiones de interés y así también asegurar que las partes embonen con facilidad y el fusil pueda ser montado sin problemas como se observa en la Figura 30.

La única pieza que no fue impresa en su totalidad es la varilla de recuperación ya que estaba comprendida por un pequeño tubo, la cual se obtuvo comercialmente en aluminio ya que el proceso de impresión para este elemento no era indispensable.

Figura 30

Réplica del Fusil HK33E impresa en 3D



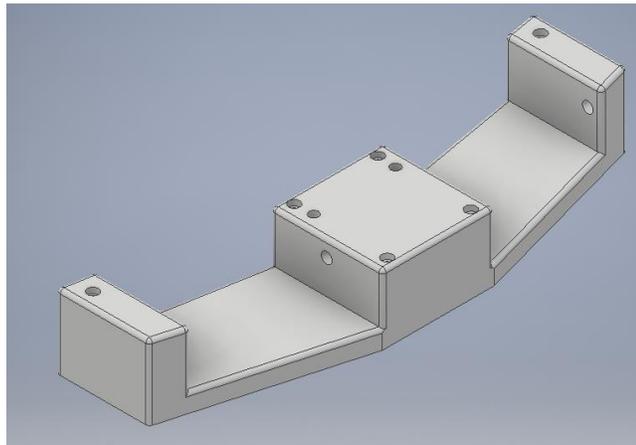
3.2.2. Case del sensor

Para optimización del programa, así como un mejor funcionamiento se realizó la implementación de un sensor al prototipo mediante el cual el usuario pueda indicar al programa que ya ha realizado el paso y requiere que el programa verifique el cumplimiento del mismo, es por esto que se usó un sensor externo a la interfaz gráfica del programa, para de este modo no interferir de forma abrupta durante el proceso de montaje o desmontaje. Además de eso se pone a consideración que se debe evitar una mala lectura del programa para lo cual se decide usar un sensor en el cual deba usar

ambas manos para así evitar la interferencia de las manos sobre la imagen durante la verificación. Así es que se desarrolló el prototipo basado en los cronómetros usados en las competencias de cubos Rubik en los cuales el tiempo se detiene cuando el participante pone ambas manos sobre el dispositivo. Como se describió en la Tabla 4, se optó por el sensor infrarrojo y como resultado se realizó el diseño del case que se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Case del sensor para la verificación de pasos



3.2.3. Material de manufactura

Para la realización de las réplicas se debe tomar a consideración además del método de manufactura, también el material a usarse, para el método seleccionado se pueden usar diferentes tipos de plásticos los cuales se presentan en rollos de filamento mediante los cuales se reproducen las piezas a través de la máquina de impresión, para este caso se consideran 4 opciones para la selección, de las cuales se realiza una selección en la Tabla 6.

3.2.3.1. Alternativa 1: PLA

El PLA (ácido poliláctico) es el plástico más empleado en el área de la impresión 3d, es derivado de materiales naturales renovables como el maíz, es de fácil acceso ya que al ser el más usado es muy comercial, además de contar con disponibilidad en muchos colores y presentaciones, es un material fácil de manejar ya que no presenta grandes inconvenientes durante el proceso de impresión ni es necesario que la máquina tenga características específicas para poder trabajarlo como es la cama caliente que aunque actualmente la mayoría de las máquinas cuentan con ella es un factor a considerar. El material se encuentra en rollos de 1 kg con diámetro de 1.75 mm como se observa en la Figura 32.

Figura 32

Filamento PLA



Nota. Tomado de (Amazon, s.f.)

3.2.3.2. Alternativa 2: PETG

El PETG es un material muy usado en impresión 3D que tiene una buena resistencia y una cierta flexibilidad, es muy útil para piezas impresas en 3D que son

destinadas a ser sometidas a presión (Figura 33) o para aplicaciones alimenticias.
(filament2print, 2019)

Figura 33

Pieza de PETG impresa en 3D



Nota. Tomado de (filament2print, 2019)

3.2.3.3. Alternativa 3: ABS

El ABS es un plástico muy usado ampliamente en la industria debido a su resistencia al impacto y que puede soportar una temperatura mayor que otros plásticos, está presente en la industria automotriz, en carcasas de aparatos electrónicos, etc. En cuanto a impresión 3D es más resistente que otros materiales presentando mejores propiedades mecánicas, sin embargo, su uso puede llegar a ser complicado ya que este material necesita estar en un entorno cerrado y sin ningún tipo de corriente de aire durante la impresión esto con el fin de evitar problemas comunes que se suelen dar en

impresión 3D con este material como el cracking o el warping, los cuales como resultado deforman la pieza que se esté imprimiendo Figura 34.

Figura 34

Problemas comunes al imprimir ABS



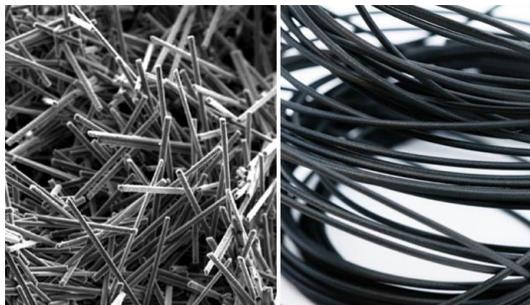
Nota. a) Problema de warping en una pieza impresa en 3D b) problema de cracking en una pieza impresa en 3D. Tomada de (Bitfab, s.f.)

3.2.3.4. Alternativa 4: Fibra de Carbono

La fibra de carbono es un material que aporta una mejora en las propiedades mecánicas al ser mezclado con el PLA, se agregan pequeños segmentos de fibra de carbono sobre el material, de esta manera el filamento es más fuerte Figura 35, lo cual da como resultado piezas más resistentes sin provocar los inconvenientes que pueden presentar otros materiales como el ABS. Este material es altamente usado en la industria automotriz y aeroespacial al tener buenas propiedades mecánicas con un peso menor a otros materiales.

Figura 35

Segmentos de fibra de carbono en el filamento



Nota. Tomado de (Marchante, 2020)

3.2.3.5. Selección del material de manufactura

Tabla 6

Selección del material de manufactura.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS							
	PLA		PETG		ABS		FIBRA DE CARBONO	
<i>Costo por rollo</i>	\$ 20	+	\$ 24	-	\$ 20	+	\$ 30	-
<i>Disponibilidad en el país</i>	Alta	+	Alta	+	Alta	+	Alta	+
<i>Emisión de gases nocivos al imprimir</i>	No	+	No	+	Si	-	No	+
<i>Acabado</i>	Bueno	+	Bueno	+	Bueno	+	Bueno	+
<i>Tendencia a fallos</i>	No	+	No	+	Warping - Cracking	-	No	+
<i>Temperatura de impresión</i>	200 - 240 °C	+	225 -245 °C	+	230 - 260 °C	-	240 - 260 °C	-
<i>Suma +</i>	6		5		3		4	
<i>Suma -</i>	0		1		3		2	
<i>Suma 0</i>	0		0		0		0	
<i>Total</i>	6		4		0		2	
<i>Evaluación</i>	Selección		No		No		No	

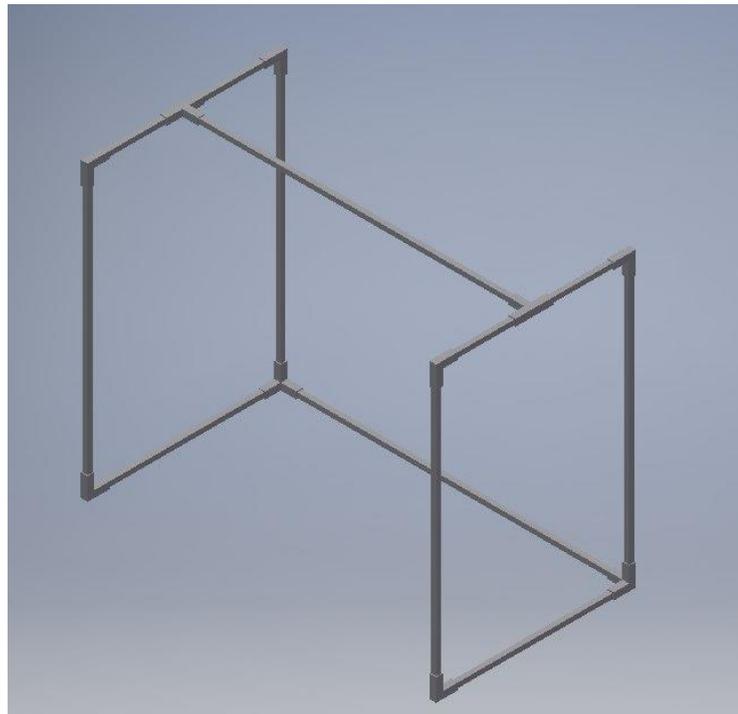
3.2.4. Estructura de soporte de cámara e iluminación

Para un correcto funcionamiento del sistema se debe tomar en consideración la estructura donde se encontrará ubicada la cámara pues esta es la que permite al sistema observar las piezas del arma a ser reconocidas. Esta estructura también debe contener la iluminación que permita tener un ambiente controlado evitando la aparición de sombras alrededor de las piezas afectando al sistema de reconocimiento.

Como idea principal para la estructura de soporte se pensó en una tipo caja, como se puede observar en la Figura 36, pero debido a la dificultad del manejo del arma al realizar el montaje o desmontaje, se descartó la opción.

Figura 36

Estructura inicial



Para que el usuario tenga libertad en el movimiento al momento de realizar el montaje o desmontaje de fusil se pensó en una estructura parecida a la de las lámparas de escritorio como muestra la Figura 37.

Figura 37

Modelo lámpara de mesa



Nota. Tomado de (Mercado libre, s.f.)

El diseño final de la estructura se muestra en la Figura 38 como se puede observar la forma es igual a la de lámpara mostrada anteriormente, esto permite al usuario colocar a la cámara a diferentes alturas sin comprometer el espacio de trabajo.

Figura 38

Estructura final

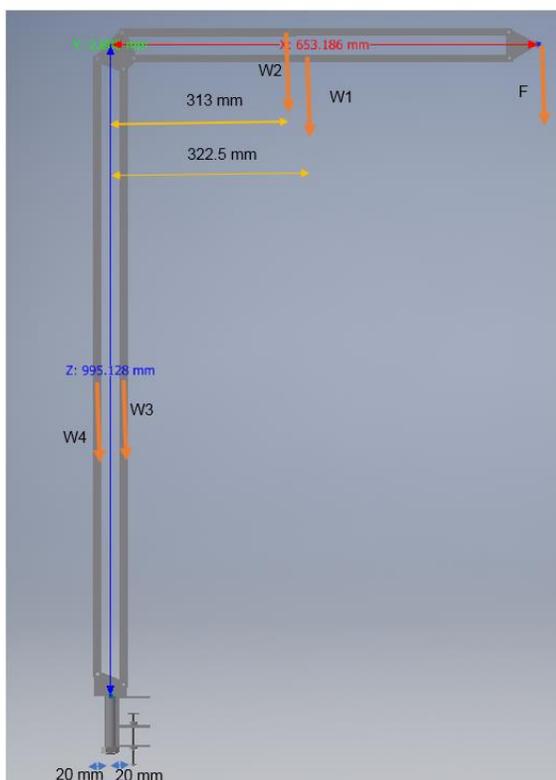


3.2.4.1. Análisis de la estructura

Para iniciar el análisis se debe tomar en cuenta que para elaborar la estructura se plantea utilizar tubo cuadrado de Acero de ½ pulgada, se debe realizar además el diagrama de cuerpo libre de la estructura, Figura 39, donde se muestran todas las fuerzas que se ejercen sobre la misma, ya sea por el peso de la propia estructura o de componentes externos, se muestran también las medidas a utilizar.

Figura 39

Diagrama de cuerpo libre



Se parte calculando el valor de los pesos tanto de las partes de la estructura (W_1 , W_2 , W_3 y W_4) como de la cámara e iluminación que se sujetan en la parte superior (F).

- $W_1 = 0.195\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2 = 1.911\text{ N}$

- $W2 = 0.190kg \times 9.81m/s^2 = 1.862 N$
- $W3 = W4 = 0.305kg \times 9.81m/s^2 = 2.989 N$
- $F = 0.3kg \times 9.8m/s^2 = 2.94N$

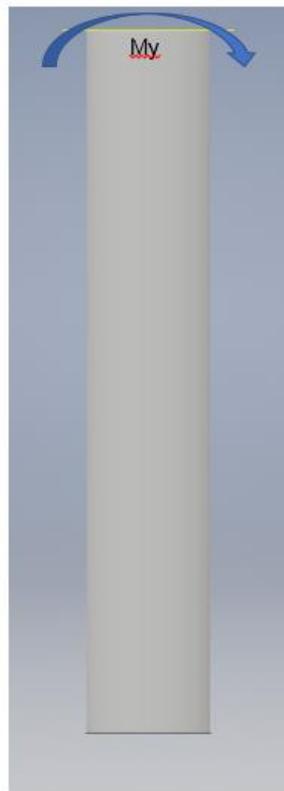
Se realiza una sumatoria de momentos en Y:

$$My = 2.94N (653mm) + 1.911N(322.5mm) + 1.862N(313mm) + 2.989N(20mm) \\ - 2.989N(20mm)$$

$$My = 3118.92 N \cdot mm$$

Figura 40

Diagrama de cuerpo libre del eje soporte



$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi (15.87\text{mm})^4}{64} = 3113.7 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = \frac{3118.92\text{N} \cdot \text{mm}(7.935\text{mm})}{3113.7 \text{ mm}^4} + \frac{12.691}{\pi \left(\frac{15.87}{2}\right)^2} = 8.01 \text{ MPa}$$

$\sigma_{perm} = 303.8\text{MPa}$ Valor extraído del catálogo de Ivan Bohman para el acero

AISI 1018

Por último se calcula el factor de seguridad para verificar que el eje sea capaz de sostener la estructura.

$$N = \frac{303.8}{7.94} = 37.93$$

El eje está sobredimensionado incluso para el trabajo que debe realizar, sin embargo, el AISI 1018 es el acero con menor resistencia a la fluencia de los ofertados por ese distribuidor.

Rosca y Tuerca del eje soporte

Tornillo

$$A_{BA} = \pi \cdot dr \cdot (Wi \cdot p)n_f$$

Donde:

dr : Diámetro raíz

Wi : Coeficiente para rosca estándar UNS/ISO 0.8

p : Paso

n_f : Número de filetes $1 \leq n_f \leq N_f$

$$N_f = \frac{Lt}{p}$$

L_t : Longitud total de la tuerca o contacto de la rosca.

$$N_f = \frac{L_t}{p} = \frac{5}{2} = 2.5$$

Se seleccionó un valor de número de filetes medio debido a que se recomienda que sea cercano a 1 ya que por el proceso de manufactura no siempre entran todos los hilos en contacto entre la tuerca y la rosca.

$$d_r = 16 - 2(1.23) = 13.54$$

$$A_{BA} = \pi \cdot d_r \cdot (W_i \cdot p) n_f = \pi \times 13.54 (0.8 \times 2) 1.75 = 119.10$$

Para determinar la fuerza que es capaz de soportar el tornillo, se parte de la fórmula:

$$S_{sba} = \frac{S_{ys}}{N}$$

Se usa $N = 0.9$ para cargas estáticas

$$S_{sba} = \frac{S_{ys}}{N} = \frac{240 \text{ MPa}}{0.9} = 266.66 \text{ MPa}$$

$$S_{sba} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

$$F_{bi} = S_{sba} \cdot A_{ba} = 266.66 \text{ MPa} \times 119.10 \text{ mm}^2 = 31.7592 \text{ kN}$$

Tuerca

$$A_{ba} = \pi \cdot d \cdot (W_o \cdot p) n_f$$

W_o : Coeficiente para rosca estándar UNS/ISO 0.88

d : Diámetro mayor

$$A_{ba} = \pi \cdot d \cdot (W_o \cdot p) n_f = \pi \times 16 (0.88 \times 2) 1.75 = 154.81$$

$$F_{bi} = S_{sba} \cdot A_{ba} = 266.66 \text{MPa} \times 154.81 \text{ mm}^2 = 41.28 \text{ kN}$$

Rosca y Tuerca del tornillo de ajuste

Tornillo

$$N_f = \frac{L_t}{p} = \frac{10}{1.95} = 5.12$$

Se usa el valor de $n_f = 3.06$

$$A_{BA} = \pi \cdot dr \cdot (W_i \cdot p) n_f = \pi \times 11.023 (0.8 \times 1.95) \times 3.06 = 165.308$$

$$F_{bi} = S_{sba} \cdot A_{ba} = 266.66 \text{MPa} \times 165.308 \text{ mm}^2 = 44081.03 \text{ N}$$

Tuerca

$$A_{BA} = \pi \cdot dr \cdot (W_i \cdot p) n_f = \pi \times 12.77 (0.88 \times 1.95) \times 3.06 = 210.65$$

$$F_{bi} = S_{sba} \cdot A_{ba} = 266.66 \text{MPa} \times 210.65 \text{ mm}^2 = 56171.92 \text{ N}$$

Por lo tanto el tornillo puede trabajar perfectamente siendo que este soporta una fuerza cortante en su rosca de hasta 44kN y siendo esta rosca para ajuste manual es más que suficiente para el trabajo a desempeñar.

Para realizar una aproximación de la fuerza de agarre necesaria para la prensa de la estructura, se realizó el cálculo de la precarga de un perno:

$$F_{imin} = N \cdot Fe \cdot \left(\frac{kc}{kc + kb} \right)$$

Donde:

F_e : Fuerza externa

K_c : Cte. de elasticidad de la junta

K_b : Cte. de elasticidad del perno

$$k_c = \frac{A_c E_c}{L}$$

Donde:

A_c : Área

E_c : Módulo de elasticidad 7000N/mm² (se usó el de la madera suponiendo su uso)

L : Longitud de las partes a unir

$$A_c = 2\pi r^2 = 2\pi (26\text{ mm})^2 = 4247.43\text{ mm}^2$$

$$k_c = \frac{4247.43\text{ mm}^2 \times 7000\text{ N/mm}^2}{50\text{ mm}} = 594640\text{ N/mm}$$

$$k_b = \frac{A_b E_b}{L} = \frac{2\pi(15\text{ mm})^2 \times 207\text{ N/mm}^2}{10\text{ mm}} = 9315\pi\text{ N/mm}$$

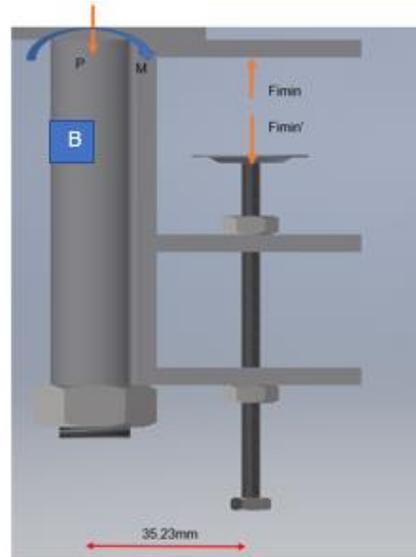
$$F_{imin} = 1.5 \times 12.691\text{ N} \left(\frac{594640}{594640 + 9315\pi} \right) = 18.14\text{ N}$$

Para corroborar que la prensa mantenga la estructura, se realiza un análisis en el punto donde generalmente se produce un mayor esfuerzo en las prensas:

El buje tiene un diámetro exterior de 20 mm e interior de 6mm

Figura 41

Diagrama de cuerpo libre de la sección de la prensa



$$Mt = -18.14N (35.23 \text{ mm}) + 3118.92 \text{ N} \cdot \text{mm} = 3100.77N \cdot \text{mm}$$

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi(20^4 - 15^4)}{64} = 5368.93 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = \frac{3100.77 \text{ N} \cdot \text{mm} \times 5 \text{ mm}}{5368.93 \text{ mm}^4} = 2.88 \text{ MPa}$$

Esfuerzos por fuerzas normales

$$\sigma_f = \frac{12.691N}{6836.105 \text{ mm}^4} + \frac{18.14N}{6836.105 \text{ mm}^4} = 4.51 \times 10^{-3} \text{ MPa}$$

$$\sigma_T = 2.8821 \text{ MPa}$$

Por último, se calcula el factor de seguridad para verificar que la prensa no falle debido a la carga que soporta

$$N = \frac{303.8}{2.8821} = 105.4$$

3.3. Desarrollo del algoritmo

Para el desarrollo del algoritmo se usaron librerías de OpenCV en su versión 4.5.1 ya que esta si soporta Darknet, y para la programación se usó el lenguaje Python en su versión 3.7.7, los cuales son adecuados para esta aplicación.

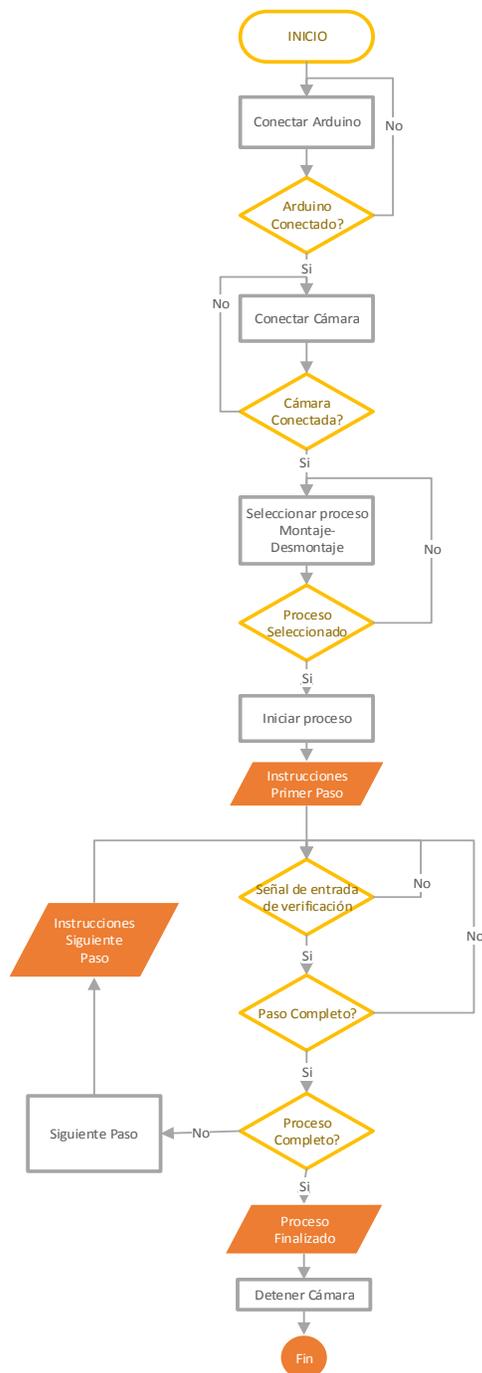
El algoritmo realiza el proceso de detección en tiempo real a través de la red neuronal YOLO, una vez empieza el proceso de montaje o desmontaje, el algoritmo va realizando la detección de las partes o paso en el cual se encuentra el fusil por medio de la cámara en tiempo real, se realiza una comprobación de que el paso se ha realizado correctamente por medio de una señal de entrada, la cual es dada por el usuario, una vez realizada la comprobación, el algoritmo continua a los siguientes pasos o se mantiene en el mismo hasta que se lo realice correctamente según sea el caso. Para poder mantener la comunicación con el Arduino a todo momento es necesario abrir un hilo para que se mantenga en todo momento la ejecución del código de lectura del puerto serial.

El programa trabaja con la librería Tkinter para su interfaz gráfica la cual cuenta con elementos como botones, labels y radiobuttons, estos elementos se encuentran presentes en la interfaz para realizar las operaciones de conexión con Arduino y la cámara además de la selección del proceso a realizar (montaje o desmontaje), la imagen que se obtiene de la cámara se muestra en pantalla con las respectivas bounding boxes de los elementos detectados, con un texto referente al elemento detectado.

A continuación, en la Figura 42 se describe el funcionamiento básico del programa en un diagrama de flujo.

Figura 42

Diagrama de Flujo del Algoritmo



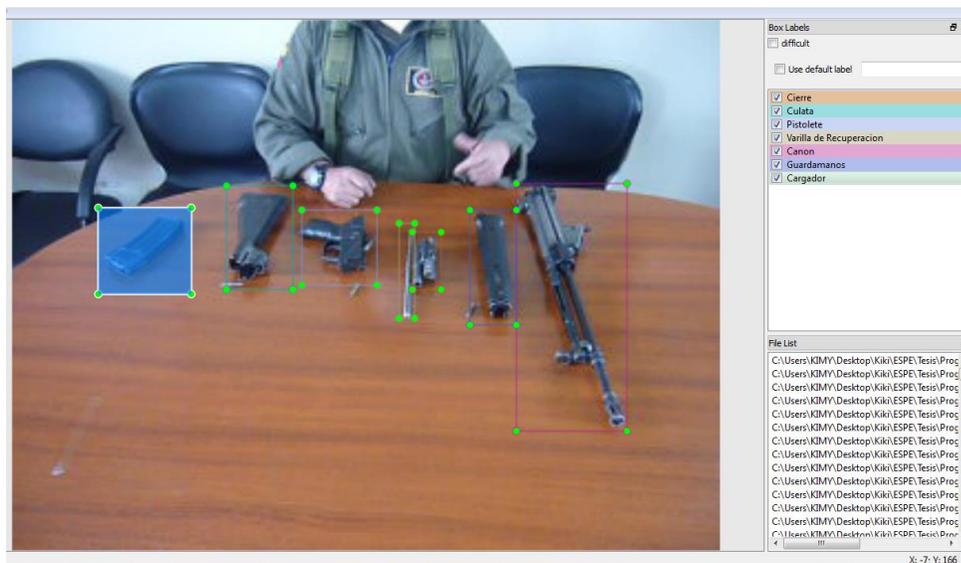
Nota. La señal de entrada de verificación proviene del Arduino contenido en el sensor que se describe en el apartado 3.4.1.1

3.3.1. Entrenamiento de la red

Para entrenar la red YOLO se puede usar una de las 3 implementaciones que actualmente existen, Darknet es la implementación oficial, este es un Framework escrito en C y CUDA por lo cual puede correr sobre CPU o sobre GPU y es la que se usa para entrenar la red.

Para entrenar la red se hace uso de un Dataset propio para este caso, el cual se obtuvo a partir de imágenes sacadas de videos capturados con apoyo del CICTE así como también de la réplica realizada en impresión 3D, la cual se usa como objeto de práctica en el proceso de montaje y desmontaje, los videos se grabaron con diferentes superficies, dando énfasis a una superficie blanca, así como también con diferentes condiciones de luz, esto con el fin de no obtener un sobre entrenamiento al tener un Dataset extenso bajo las mismas condiciones siempre. De las imágenes se obtuvo un total de 10056 imágenes, de la cual se sustrajeron imágenes desenfocadas, borrosas, o con algún defecto, obteniendo como resultado un Dataset de 8315 imágenes, las cuales se usaron para el entrenamiento.

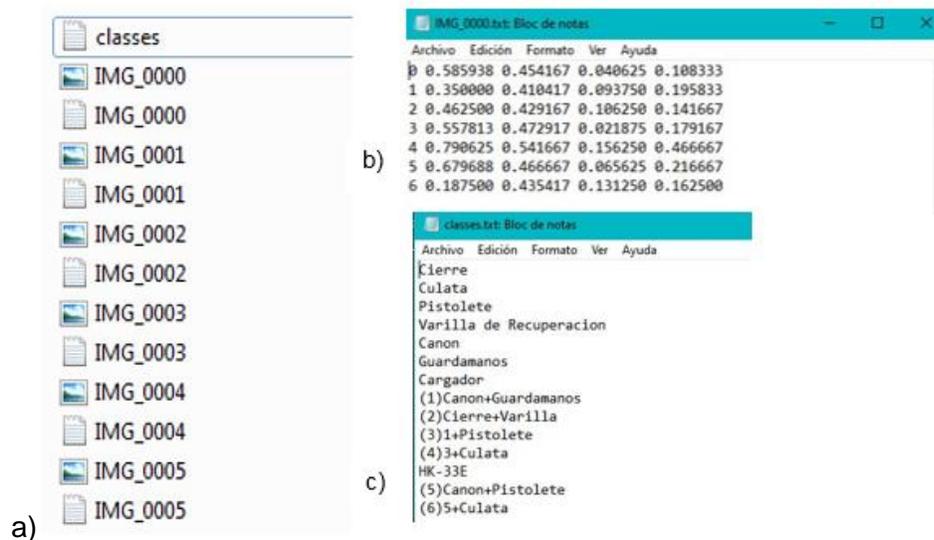
Previo a la realización del entrenamiento se realizó el etiquetado de las imágenes, es aquí donde en cada imagen se marcan los objetos con los que se va a entrenar la red y sus respectivos nombres, denominadas clases, para esta actividad se utilizó el programa labellmg, esta herramienta permite realizar el etiquetado de manera sencilla, creando recuadros alrededor de los objetos de interés y colocando la clase a la que pertenecen, tal como lo muestra la Figura 43.

Figura 43*Etiquetado de imágenes*

Esta herramienta guarda por cada imagen un documento de texto con el mismo nombre de esta, tal como lo muestra la Figura 44 en el apartado b, donde se guardan valores numéricos de posición en x, posición en y, alto y ancho, esto por cada objeto señalado en la imagen, junto a un valor que va desde cero hasta el número de clases existentes, este es el orden con que se encuentra el archivo clases que también lo crea la herramienta labellmg, todo esto se muestra en la Figura 44 apartado c.

Figura 44

Archivos generados al etiquetar las imágenes



Nota. a) Archivos contenidos en la carpeta de etiquetado, b) archivo txt del etiquetado en una imagen, c) archivo txt de la lista de clases

3.3.1.1. Parámetros de la red.

Para el entrenamiento de la red se realizó la configuración según recomienda YOLO para entrenar con Darknet.

A continuación, se describen los parámetros con valores específicos que se usaron para el entrenamiento:

- **Batch:** Este parámetro define el número de imágenes que son enviadas en cada iteración del entrenamiento, al aumentar el lote el entrenamiento será más lento, sin embargo, la red encontrará mejor el descenso del gradiente, por el contrario, si es muy pequeño no converge lo suficiente y puede caer en un óptimo local. Valor usado: 64

- **Subdivision:** Divide el lote (batch) en partes más pequeñas con el fin de reducir el uso de memoria, una vez que todas estas partes se ejecutan se empaquetan completando así la iteración. Valor usado=16 (recomendado)
- **Max_batches:** Este valor corresponde al número de lotes máximos, es decir que al llegar al lote que se especifica se detiene el entrenamiento, es decir el número máximo de iteraciones. Se determina por medio de la fórmula:

$$max_batches = \text{Numero de clases} * 2000$$

Para este caso se usó:

$$max_batches = 14 * 2000 = 28000$$

Este valor no puede ser menor a 6000 así se estén usando menos de 3 clases

- **Learning_rate:** Este parámetro determina cuán rápido el modelo se adapta al problema, determina cuanto se actualizan los pesos durante el entrenamiento. Este valor puede estar comprendido entre 0 y 1, un valor muy pequeño necesita un mayor número de épocas debido a los cambios tan pequeños que realiza pudiendo llegar a atascar el proceso, por el contrario, una tasa muy grande puede provocar una convergencia demasiado rápida, provocando una solución no óptima. Valor usado: 0.001
- **Steps, scales:** Estos parámetros trabajan en conjunto sobre un parámetro llamado learning rate, los steps definen intervalos en los cuales se va a realizar en entrenamiento con una determinada tasa de aprendizaje, mientras las escalas son multiplicadores del valor de learning rate, los cuales definen el valor de la tasa de aprendizaje para cada uno de estos intervalos. Los valores de Steps usados corresponden al:

$$steps = (80\% \text{ de } max_batches, 90\% \text{ de } max_batches)$$

$$steps = (22400,25200)$$

- **Filters:** Corresponde al número de mapas de características que se crearan

$$filters = (\text{Número de clases} + 5) * 3$$

$$filters = (14 + 5) * 3 = 57$$

- **Classes:** Número de clases o de elementos los cuales va a reconocer la red.

Valor usado: 14

$$classes = \text{numero de clases} = 14$$

Las clases usadas para el entrenamiento corresponden a las partes del fusil (7), más las combinaciones de las partes que corresponden a los pasos de montaje (4) y adicionalmente otras combines posibles (3) de este modo se obtienen las 14 clases, de las cuales, las mismas que responden a:

1. Cierre (1104)
2. Culata (1282)
3. Pistolete (847)
4. Varilla de Recuperación (836)
5. Cañón (1051)
6. Guardamanos (1753)
7. Cargador (1512)
8. (1)Cañón+Guardamanos (17)
9. (2)Cierre+Varilla (114)
10. (3)1+Pistolete (15)
11. (4)3+Culata (813)
12. HK-33E (593)
13. (5)Cañón+Pistolete (1000)

14. (6)5+Culata (836)

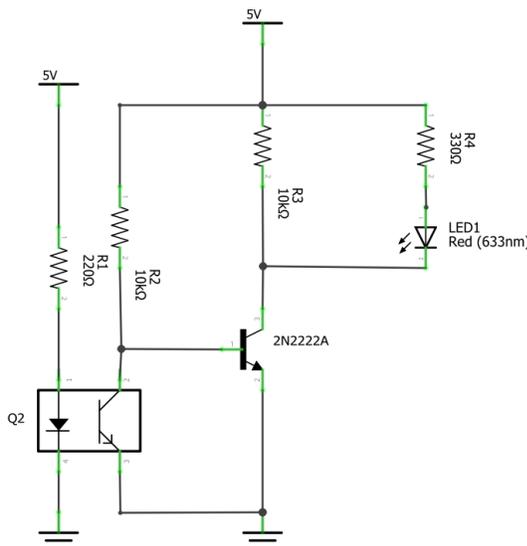
3.4. Electrónica del sensor

Para el funcionamiento del sensor se usó el sensor infrarrojo para lo cual se usó un circuito para acondicionar la señal del sensor, misma que será recibida por el Arduino, esto se realizó por medio de un transistor que actúe como un Switch para asegurar los niveles de voltaje que necesita el Arduino para identificar la entrada como High o Low según sea el caso, además de un indicador lumínico (Led) de modo que el usuario pueda distinguir de forma visual que ha activado el sensor.

Con este fin se usó el circuito de la Figura 45 el cual envía una señal High al Arduino si no existe interrupción en el sensor infrarrojo y Low cuando ocurre una interrupción.

Figura 45

Diagrama del circuito de acondicionamiento del sensor



Para el cálculo del emisor se obtienen los datos del Led emisor infrarrojo del Datasheet:

$$V_E = 1.2v$$

$$I_E = 20mA$$

$$R1 = \frac{V}{I} = \frac{5v - 1.2v}{20mA} = 190 \Omega$$

$$R1 = 220\Omega$$

Para la parte del receptor, se usó un transistor 2N2222A.

$V_{CE} = 0v$ Se asume 0v cuando el transistor entra en saturación

La corriente que circula por colector corresponde a la corriente de la rama del Led, así como la de la resistencia R3, se asume un valor de 10k Ω para R3.

$$i_c - i_{led} = 5v/R3$$

Para el cálculo de la resistencia del Led R4 se debe limitar la corriente a los 10 mA del Led

$$V_{led} = 1.8v$$

$$R4 = \frac{5v - 1.8v}{10mA} = 320 \Omega$$

$R4 = 330\Omega$ Valor comercial

$$i_{Led} = \frac{5v - 1.8v}{330 \Omega} = 9.69mA$$

$$i_c = 5v/10k\Omega + 9.69mA = 10.19mA$$

$$\beta=100$$

$$i_B = \frac{i_c}{100} = 101.9\mu A$$

$$R_2 = \frac{5v - 0.7v}{101.9 \mu A} = 42198.23 \Omega$$

El valor de R1 no puede ser mayor a 42198.23 Ohm para asegurar la saturación del transistor, pero se puede usar valores inferiores.

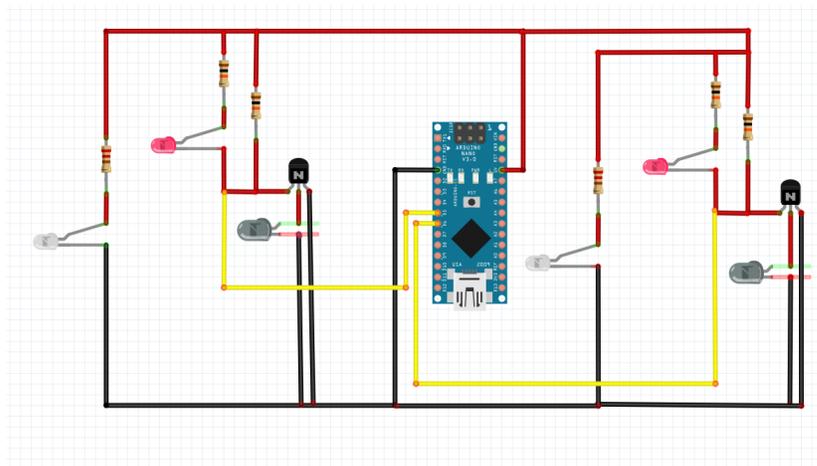
El receptor infrarrojo establece un tiempo de reacción del sensor según la resistencia que se use, por lo cual, se usa una resistencia de 10 K Ohm que aún es menor del máximo y tiene un tiempo de respuesta cercano a 1 microsegundo según el Datasheet del elemento.

3.4.1.1. Programación Arduino

El propósito del sensor es enviar una señal al programa para indicar que se lleve a cabo la verificación por lo cual el Arduino se encarga de enviar una señal por puerto serial al computador, el Arduino lee dos entradas digitales de las cuales recibe un estado de LOW cuando el sensor es activado por la interrupción del emisor infrarrojo, caso contrario HIGH, Figura 46, por lo tanto solo si el Arduino recibe dos señales de LOW enviará un String ON por puerto serial al programa por una única vez hasta que cambie su estado, en cuyo caso enviara un String OFF.

Figura 46

Conexión circuito del sensor y Arduino

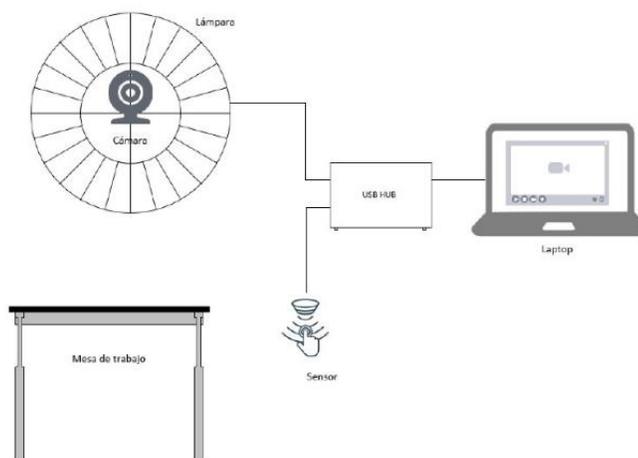


3.5. Diseño Preliminar

En la Figura 47 se puede observar una representación del diseño preliminar planteado a lo largo de este capítulo ilustrando la forma física y distribución del prototipo.

Figura 47

Diseño preliminar



Capítulo IV

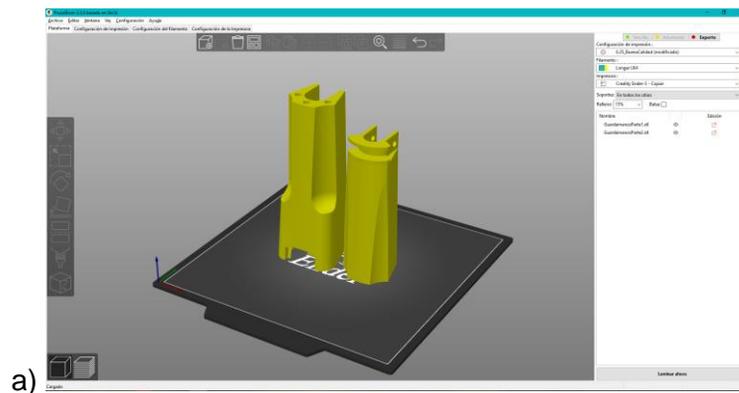
4. Implementación del sistema

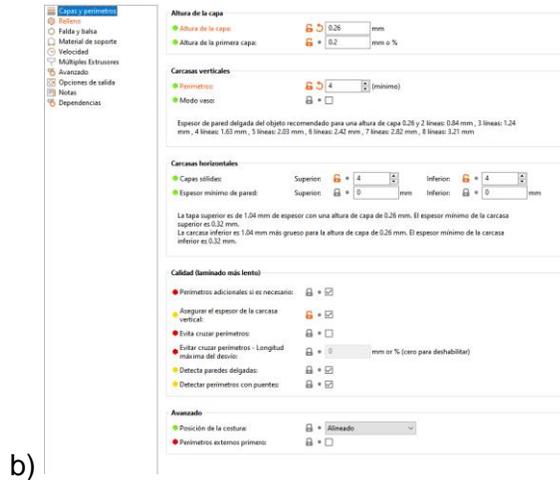
4.1. Réplica del fusil

De los modelos CAD se obtiene los stl de las 7 partes del fusil, se usa el laminador Prusa Slicer para obtener el código G, la impresora usada cuenta con una boquilla de 0.4 mm la cual es adecuada para impresiones estándar permitiendo imprimir a una altura de capa de hasta 0.32 mm, pero se usa un valor de 0.26 mm para mantener una buena calidad optimizando los tiempos lo más posible, se usan 4 perímetros y 4 capas de base y superiores con un relleno de 15% y con soporte de 10% de relleno como se observa en la Figura 48.

Figura 48

Configuraciones laminador Prusa Slicer





Nota. a) Ventana de inicio del laminador Prusa, b) Configuraciones del laminador para extraer el código G

El material usado es PLA de color negro cuya temperatura de fusión es de aproximadamente 190°C salvo el pistolete impreso con PLA-fibra de carbono debido a que esta es la única pieza que cuenta con partes móviles, en la Figura 49 se puede observar las piezas impresas.

Figura 49

Partes del fusil replicadas en impresión 3D



La varilla de recuperación está compuesta por un tubo de aluminio de diámetro externo de 8mm e interno de 6mm, por lo cual únicamente se imprimió los anillos y tapas del tubo, esto se puede ver en la Figura 50. Además, para que la estética de esta pieza sea igual a la pieza original se usó también un resorte con un alambre de 0.8 mm y 75 vueltas para una longitud de 27 cm.

Figura 50

Varilla de recuperación

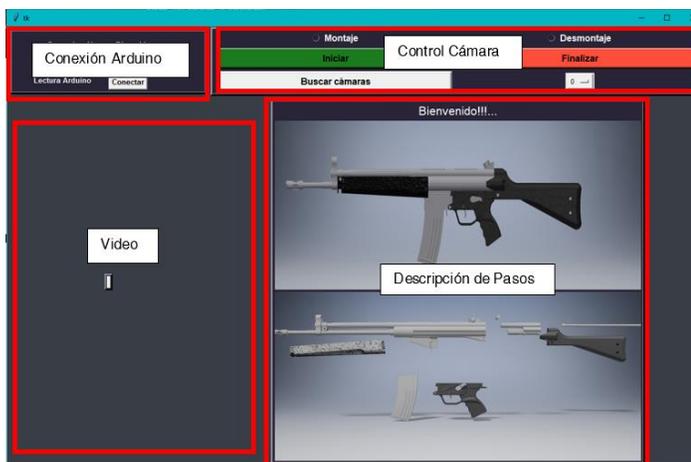


4.2. Elaboración del programa e interfaz gráfica

La interfaz gráfica consta de 4 secciones que corresponden a conexión de Arduino, control de la cámara, video y descripción de pasos, se realizó la división por secciones con el fin de obtener una interfaz más organizada y amigable con el usuario y así facilitar el uso de la aplicación, Figura 51. Las secciones de Conexión Arduino y control cámara permiten el control del usuario sobre el programa para su adecuado uso, mientras las secciones de video y descripción de pasos son netamente informativas, ya que la primera muestra la imagen de video obtenida de la cámara con resultados de detecciones realizadas por la red, mientras que la última es netamente informativa, para el despliegue de información relevante para el usuario.

Figura 51

Secciones de la Interfaz Gráfica

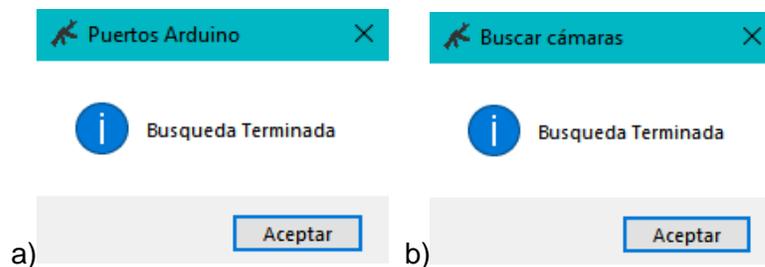


Para evitar el uso incorrecto de la interfaz y problemas en ejecución el programa cuenta con sus respectivas ventanas emergentes las cuales prevén posibles errores como la no conexión de Arduino o un error durante la conexión del mismo, también para facilidad del usuario se agregaron ventanas de información referentes a procesos en los cuales el usuario debe esperar un proceso por parte del sistema como lo es el buscar el puerto de conexión del sensor o la búsqueda de las cámaras disponibles. Para poder trabajar con el programa se debe escanear los puertos para determinar cuales están disponibles. Tras terminar este proceso se proporciona una ventana de información Figura 52 de modo que el usuario sepa cuando se termina este proceso y pueda continuar.

La cámara se deja a selección debido a que su puerto depende de la máquina en la que vaya a usarse ya que en una laptop siempre cuenta con una cámara integrada (0) por lo que la cámara externa corresponderá a otro número, mientras un computador de escritorio depende de las cámaras que pueda tener conectadas.

Figura 52

Ventanas de información

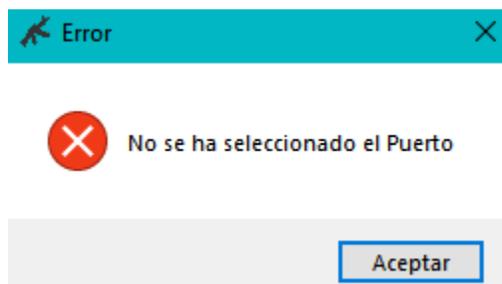


Nota. a) Ventana de búsqueda terminada del sensor, b) Ventana de búsqueda terminada de los puertos de la cámara.

Para realizar el proceso de montaje o desmontaje, es necesario antes de iniciar la cámara conectar con el sensor, una vez terminada la búsqueda se debe seleccionar el puerto de la lista desplegable que se actualiza a la izquierda del botón de buscar puertos, si no se realiza este paso y se trata de conectar, la ventana emergente Figura 53 indicara el error por no selección de puerto.

Figura 53

Error por no selección del puerto del sensor

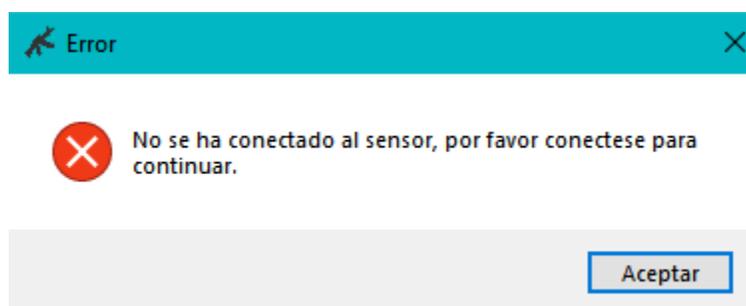


De la misma manera como se indicaba en el apartado anterior con el sensor, si no se ha realizado la conexión del sensor de manera correcta y se busca iniciar la cámara esta arrojará un error Figura 54 pidiendo que se realice la conexión del sensor

para poder continuar, estos dos últimos errores son necesarios de mostrar e impedir que el usuario continúe para que no exista ningún inconveniente mientras se ejecuta el programa, sin la conexión del sensor, el usuario será incapaz de avanzar en los pasos el proceso que esté realizando.

Figura 54

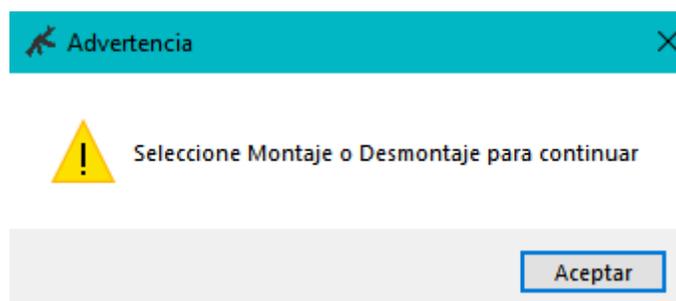
Error por iniciar cámara sin conectar el sensor



El programa necesita de la selección de un proceso a realizar referente a montaje o desmontaje, por lo tanto, la cámara no puede iniciarse mientras no se haya seleccionado uno de los procesos, al tratar de hacerlo se desplegará una advertencia Figura 55 para la selección del proceso antes de poder continuar.

Figura 55

Advertencia de no selección del proceso a realizar



Si se realizan los pasos correctamente, los cuales se describen a continuación, se podrá observar la interfaz con la transmisión del video como se muestra en la Figura 67.

1. Fijar el soporte de la cámara-lámpara a la mesa de trabajo.

Figura 56

Anclaje de la estructura de soporte



Nota. a) Tuerca de ajuste de la rotación de la estructura b) Mariposa de ajuste de la prensa de anclaje de la estructura

2. Conectar con el Hub vía USB verificando que tanto el sensor y la cámara estén conectadas al mismo.

Figura 57

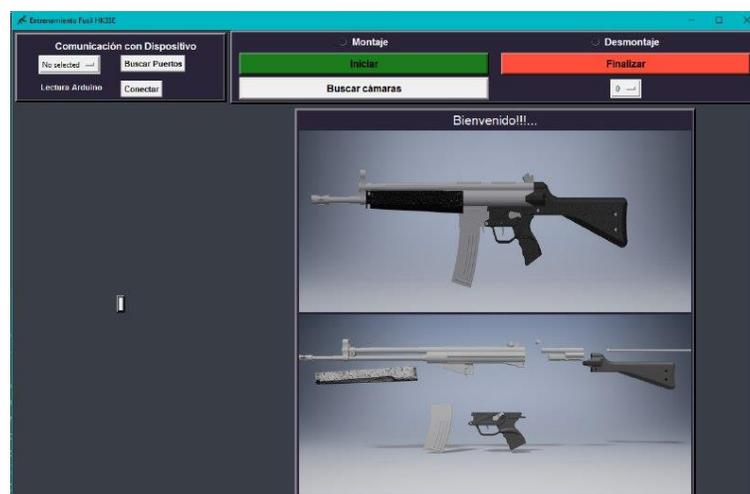
Hub USB sujeto a la estructura



3. Ejecutar el programa.

Figura 58

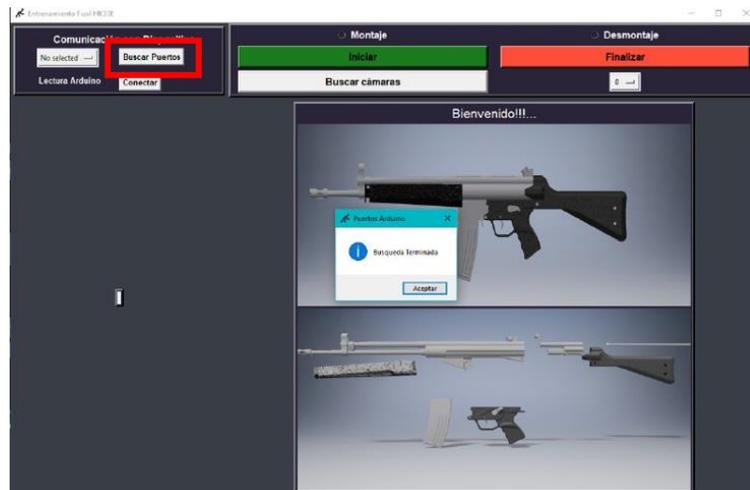
Pantalla de inicio en el programa



4. Realizar la búsqueda de puertos en la sección de Conexión Arduino.

Figura 59

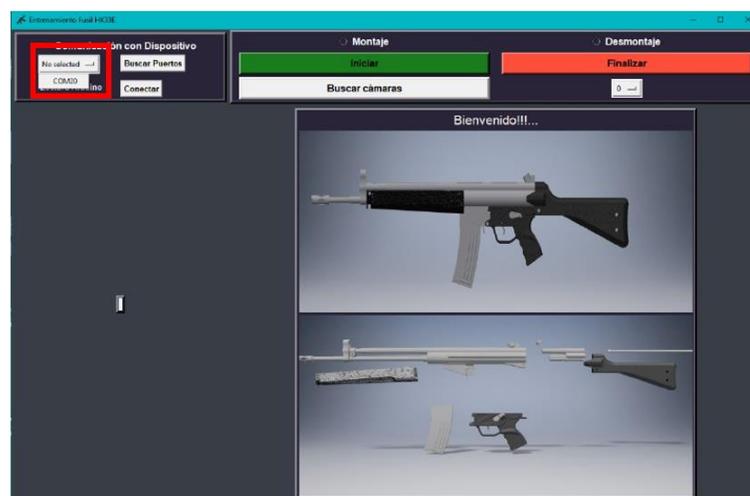
Búsqueda de puertos el sensor



5. Seleccionar el COM xx que se vaya a usar en la lista desplegable y dar clic sobre el botón conectar.

Figura 60

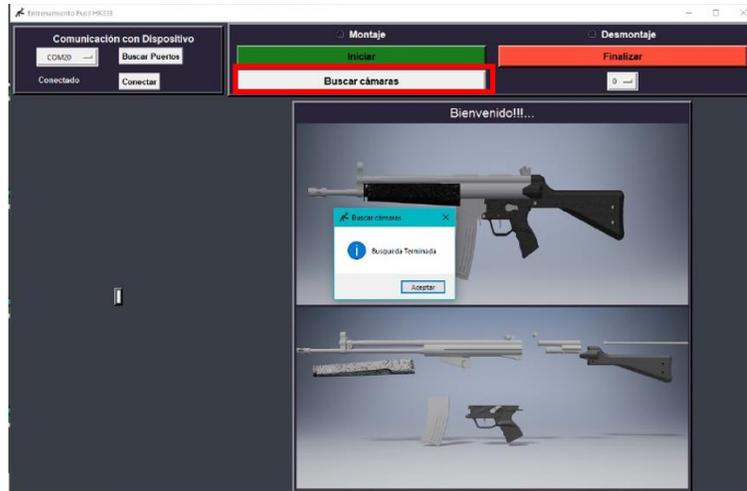
Lista de puertos del sensor detectados



6. Buscar cámara (el valor por defecto es 0 por lo que si solo se dispone de una cámara se puede conectar directamente obviando este paso).

Figura 61

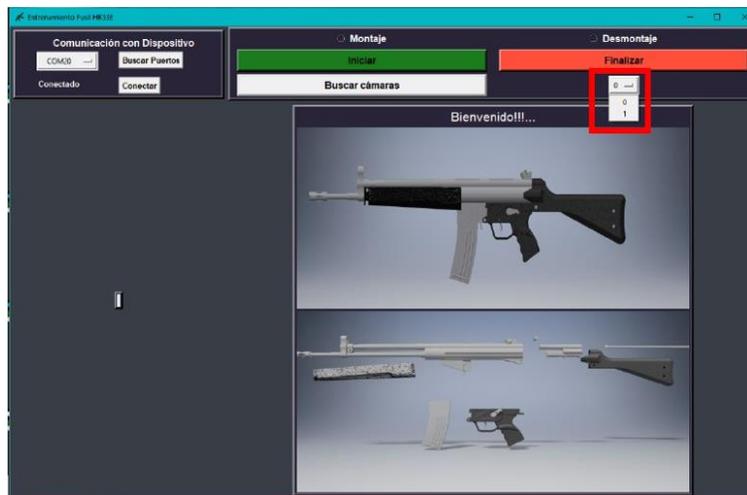
Búsqueda cámaras disponibles



7. Seleccionar la cámara disponible en la lista desplegable.

Figura 62

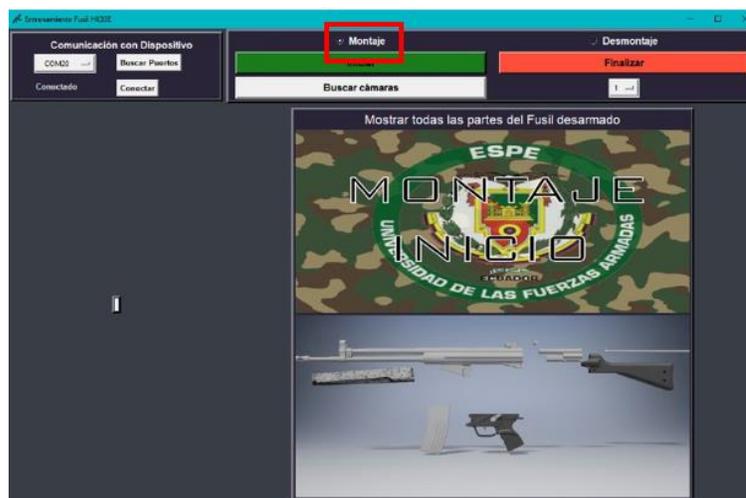
Lista de cámaras detectadas



8. Dar clic sobre el radio button del proceso a realizar (Montaje o Desmontaje).

Figura 63

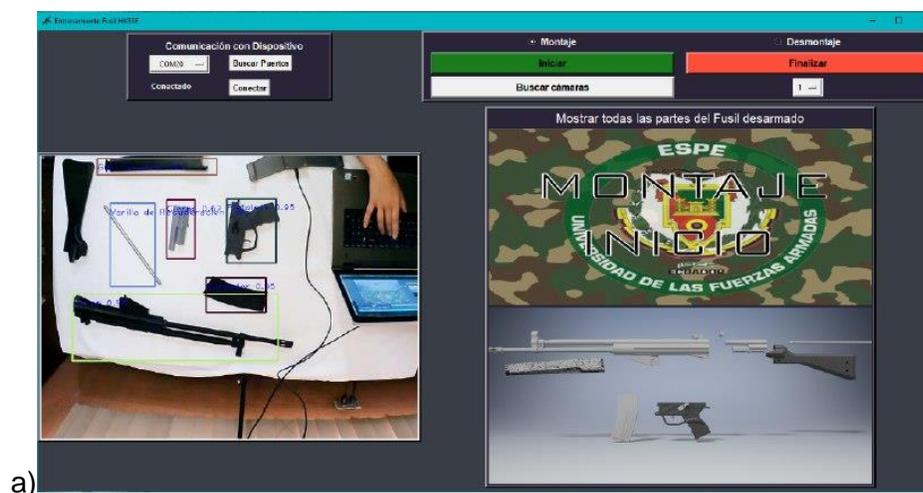
Selección del proceso de montaje o desmontaje

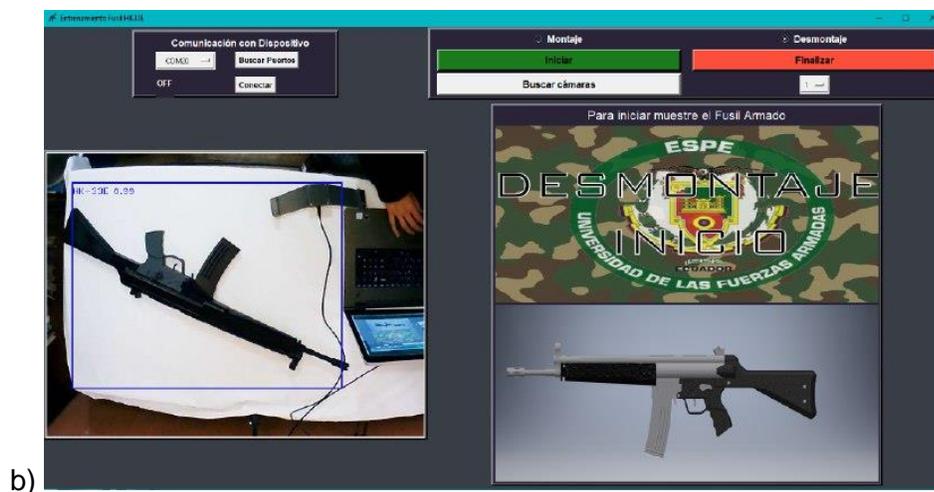


9. Dar clic sobre el botón iniciar.

Figura 64

Inicio del proceso seleccionado





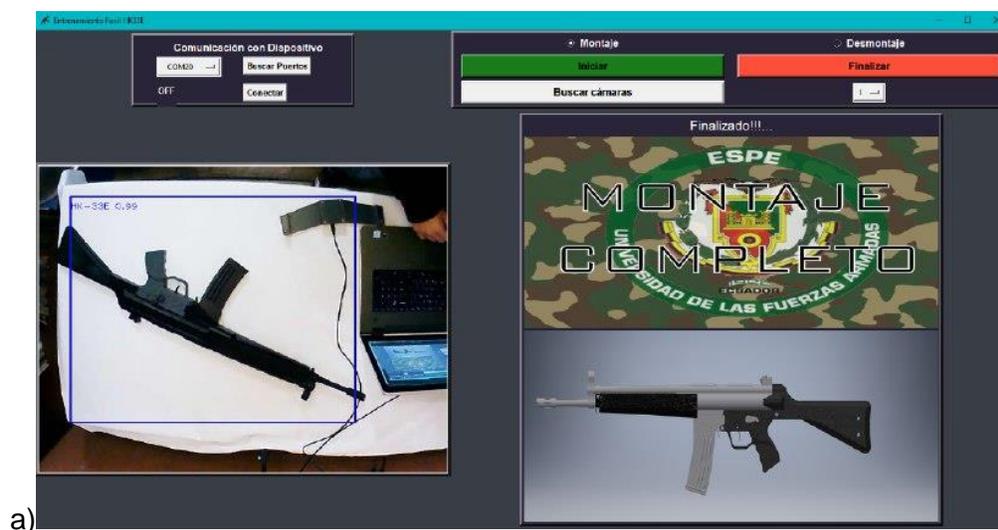
b)

Nota. a) Inicio del proceso de montaje, b) Inicio del proceso de desmontaje

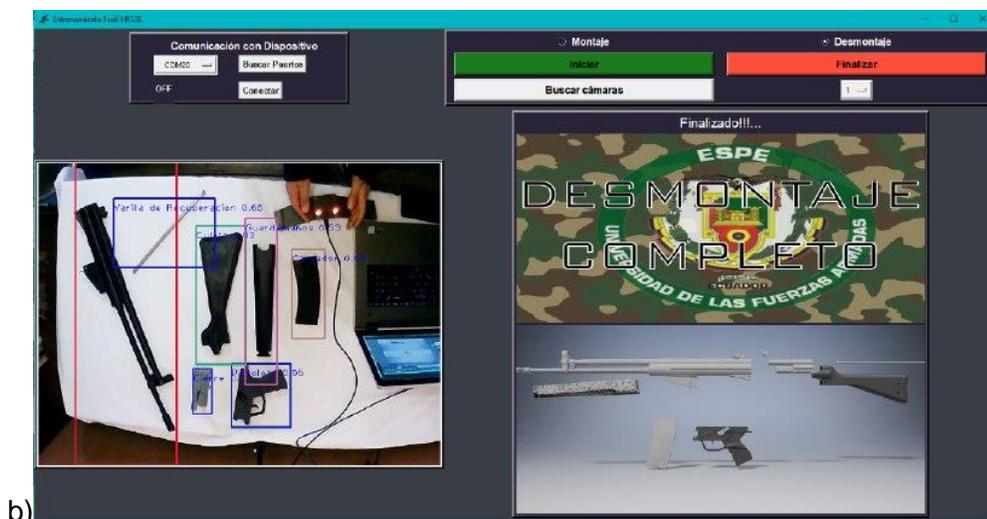
10. Seguir los pasos marcados en la parte derecha de la interfaz para seguir con el proceso de montaje y desmontaje del fusil hasta terminar el proceso.

Figura 65

Pantalla de finalización del proceso



a)



b)

Nota. a) Pantalla del proceso de Montaje Completo b) Pantalla del proceso de desmontaje completo.

11. Para apagar la cámara se dé clic en el botón finalizar y posteriormente se puede cerrar el programa

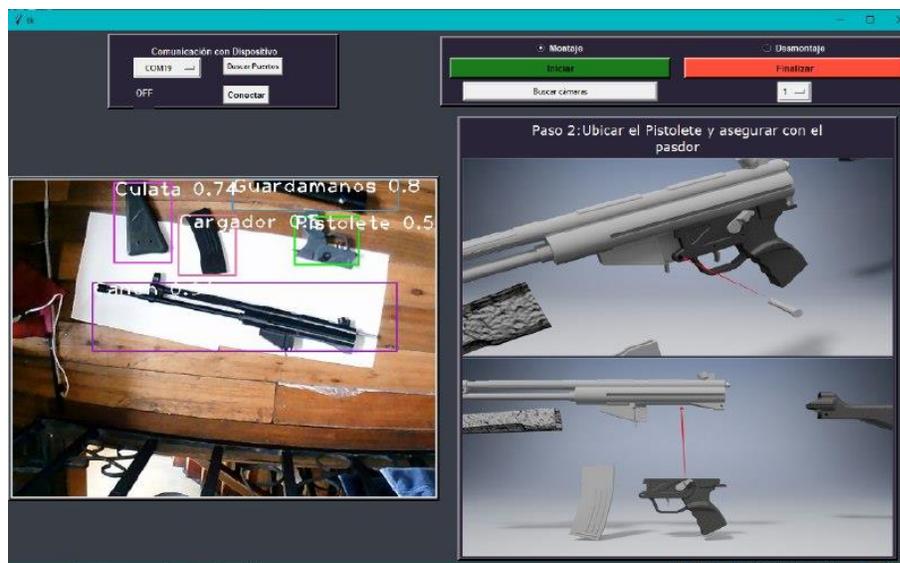
Figura 66

Finalización de la cámara



Figura 67

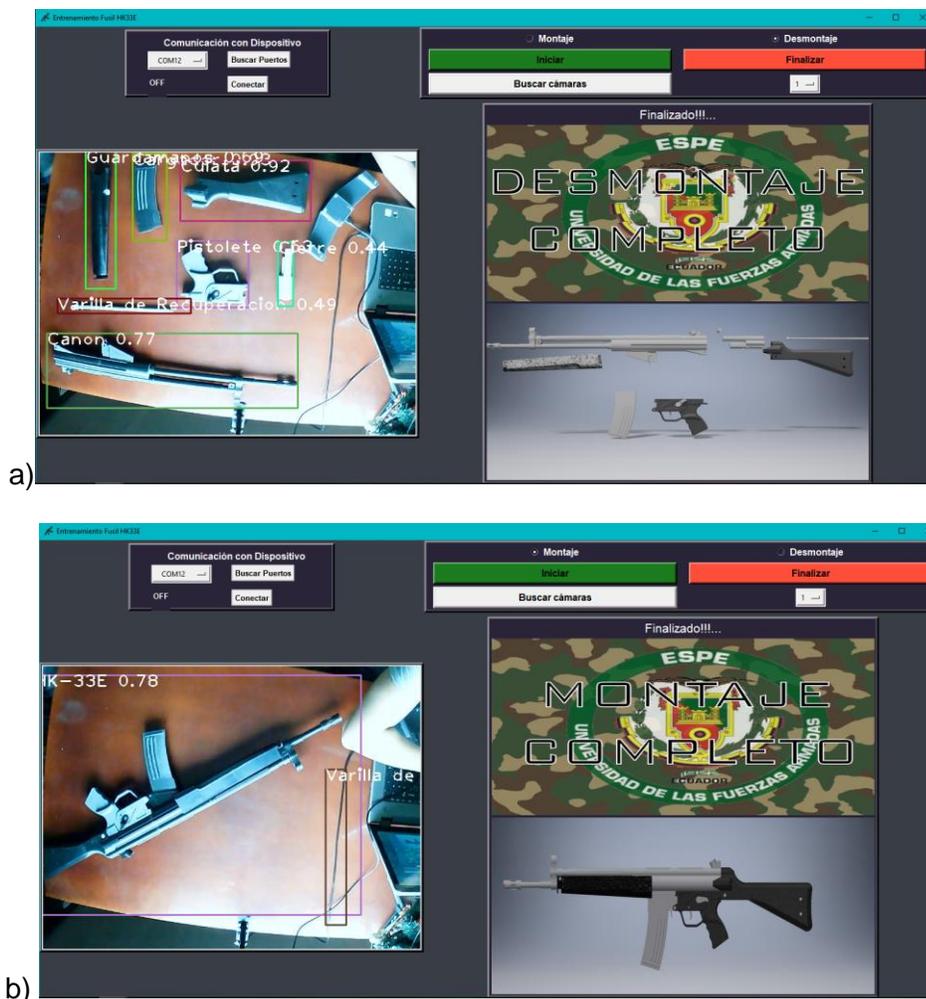
Interfaz gráfica de usuario en ejecución



Cuando se terminan los pasos de los diferentes procesos se muestra en los pasos una imagen que indica el fin del proceso, en caso de que se quiera cambiar de proceso o rehacerlo se debe marcar el radio button correspondiente al proceso que se desee realizar. En caso de que ya no se requiera usar el programa se debe finalizar la cámara y cerrar la ventana, el video se puede detener en cualquier momento y al cerrar la ventana se cierran los hilos de programación y conexiones que se encuentren en ejecución.

Figura 68

Pantalla de proceso completo de la interfaz gráfica



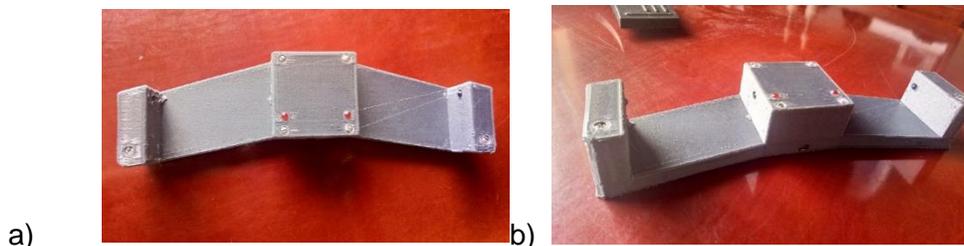
Nota. a) Ventana de desmontaje completo b) Ventana de montaje completo

4.3. Implementación del sensor

El sensor trabaja bajo una carcasa impresa en 3D (Figura 69) con los parámetros descritos para la impresión de las piezas de la réplica, con material PLA-fibra de carbono. Este case cuenta con un espesor de pared de 2mm para proporcionar el espacio para alojar el circuito en su interior.

Figura 69

Case del sensor impreso en 3D

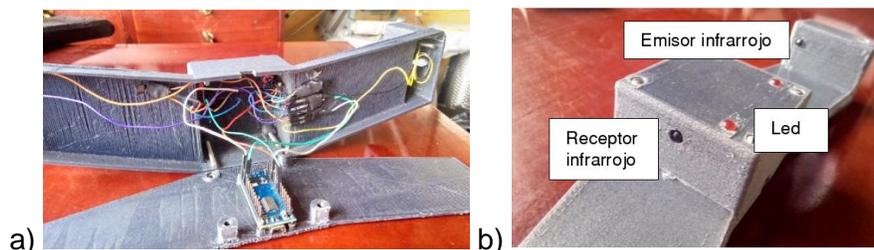


Nota. a) Vista superior del case b) Perspectiva isométrica del sensor

El circuito está llevado a la práctica con el uso de cables (Figura 70), prescindiendo de una PCB esto debido a que el mismo debe estar ubicado dentro del case con un grado de flexibilidad debido a la ubicación de los elementos externos que corresponden a leds, leds infrarrojos y los receptores infrarrojos, los mismos que se encuentran en diferentes posiciones alrededor del case. Así mismo el Arduino se encuentra ubicado en la parte inferior para poder proporcionar puntos de anclaje para el Arduino y tener acceso a una fácil conexión al mismo por vía USB.

Figura 70

Circuito del sensor implementado en el case



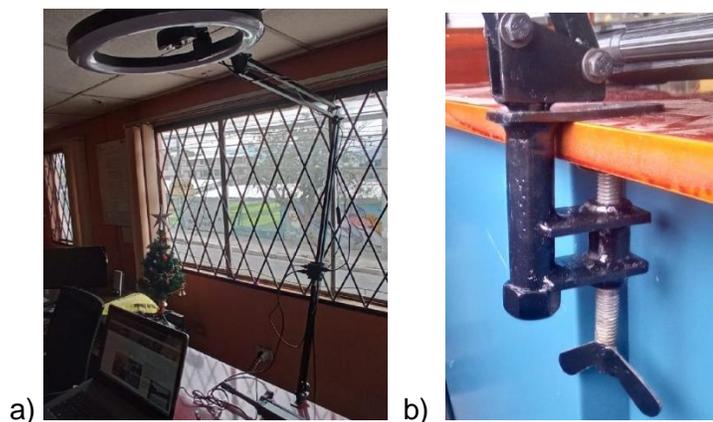
Nota. a) Circuito del sensor implementado en el case, b) Disposición de los leds y sensores en el case

4.4. Construcción de la estructura

La estructura de soporte de la cámara y lámpara se construyó con tubo cuadrado de acero de $\frac{1}{2}$ pulgada tras una selección del modelo adecuado para esta aplicación. La primera proyección de la estructura estaba orientada a un soporte fijo con tubo cuadrado el cual requería de un gran espacio para ser ubicado sobre la mesa de trabajo ya que para evitar interferir con el usuario este debía tener unas dimensiones superiores a las del fusil armado lo cual convertía en esta opción muy poco versátil e incómoda. Posteriormente se optó por la opción de una estructura móvil que conste de un brazo articulado que se sujete a la mesa de trabajo por medio de una prensa, este diseño presenta ventajas como que es menos invasivo sobre el área de trabajo del usuario, así mismo al ser móvil se puede ajustar su altura y posición según los requerimientos del usuario acorde a su espacio de trabajo como se puede apreciar en la Figura 71.

Figura 71

Estructura del soporte para la cámara y luz



Nota. a) Estructura soporte de la cámara y lámpara, b) anclaje de la estructura a la mesa por medio de una prensa

Yolo a pesar de ser un sistema muy robusto aún puede presentar interferencias con la luz, recordemos que es un sistema de visión artificial y estos sistemas suelen ser susceptibles a fallos frente a variaciones de luz, con este fin se busca un sistema de iluminación para ambientes muy poco iluminados. Inicialmente se plantea el uso de tiras Led que permitan cubrir una mayor área de iluminación, pero debido al tipo de estructura usada para que esta iluminación cubra el área de trabajo se debería extender por la mesa de trabajo lo cual provoca una invasión sobre el espacio que podría ser molesta para el usuario, es por eso que se optó por usar un aro de luz como el de la Figura 72, este tipo de iluminación se usa en gran medida para aplicaciones de video y fotografía para obtener un buen resultado pese a no ser un equipo profesional de fotografía.

Figura 72

Aro de luz de la estructura



Para comodidad del usuario se procuró que la conexión del dispositivo con el computador no sea compleja o necesite demasiados puertos de conexión que puedan incomodar al usuario, es por esto que se centralizo las entradas a puertos USB del sistema en un HUB USB para que requieran únicamente un puerto disponible en el

computador para su conexión, el cual se fija en la estructura por medio de un case como se puede observar en la Figura 73.

Figura 73

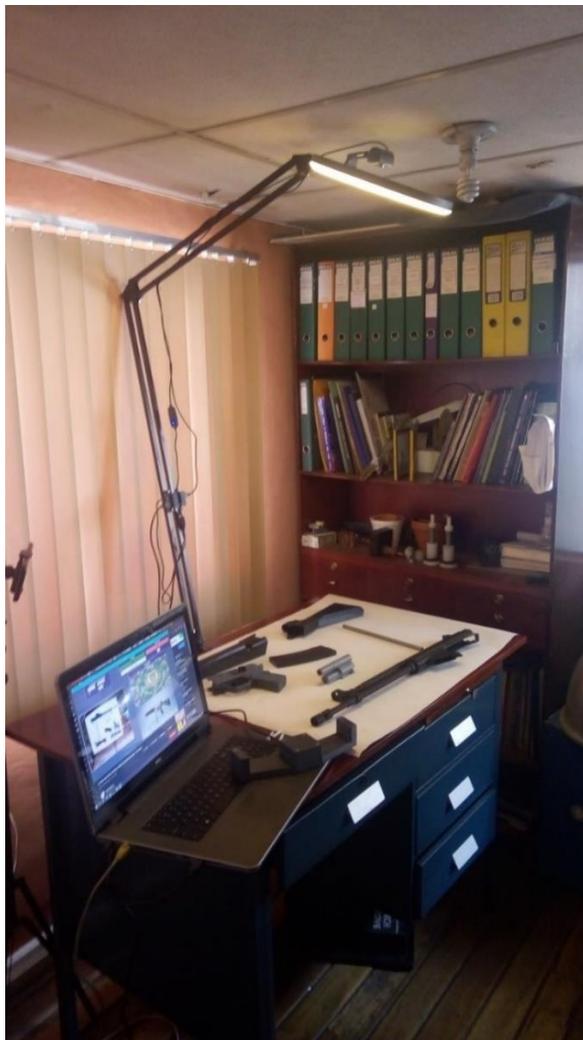
USB Hub ubicado en la estructura



Finalmente, el sistema queda distribuido como se puede observar en la Figura 74 con la estructura sujeta a la mesa con la cámara y luz montadas sobre la misma, y conexión al computador, junto con el sensor, además de la réplica para hacer uso del sistema.

Figura 74

Vista general del sistema implementado



Capítulo V

5. Pruebas y resultados

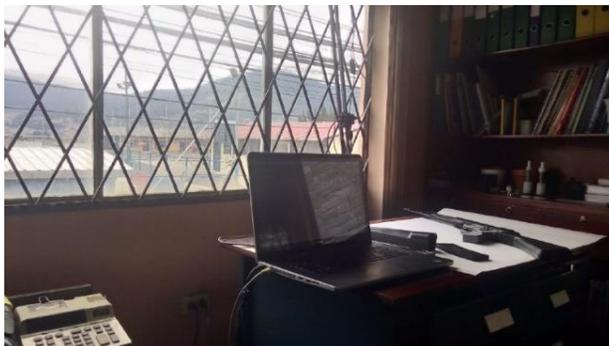
5.1. Evaluación de la red YOLO para detección de las partes

La detección de las partes del fusil HK33E se evaluó sobre cuatro superficies diferentes, dos de las cuales son sobre las que se ha entrenado la red, mientras las otras dos corresponde a una superficie diferente de las cuales se tomó a consideración que sean colores sólidos y tengan un buen contraste con las partes del fusil. Para llevar a cabo el proceso de evaluación se ubicó cada una de las piezas sobre la superficie y se fue rotando con el fin de verificar que se realice la detección en las diferentes posiciones y sobre las diferentes caras posibles en las que se pueda ubicar la parte, también variando su ubicación sobre la mesa para considerar la afectación de sombras o posición sobre la mesa de trabajo que pueda alterar el reconocimiento.

Se realizaron 50 muestras de cada parte para cada una de las condiciones siendo estas con luz natural tenue, es decir de modo que no llegue luz solar directa sobre las piezas que pueda causar una reflexión de luz que afecte a la imagen captada por la cámara como se puede ver en la Figura 75.

Figura 75

Entorno de prueba de la red con iluminación natural



Con luz artificial, las pruebas se realizaron al atardecer o en la noche con el fin de usar únicamente las luces proporcionadas por los focos de la habitación y el aro de luz de la estructura de la cámara dando así una suficiente luz ambiental y erradicando sombras de la mesa de trabajo como se puede ilustrar en la Figura 76.

Figura 76

Entorno de prueba de la red con iluminación natural



5.1.1. Reconocimiento de las partes sobre una superficie entrenada

Tras realizar las pruebas de 50 muestras de cada parte para las superficies entrenadas con luz natural y artificial se obtuvieron los datos que se pueden ver en la Tabla 7, los cuales corresponden a la precisión de detección de la red expresada como un porcentaje de detecciones correctas respecto a cada una de las partes a identificar en el programa correspondientes a los pasos del proceso de montaje y desmontaje del fusil HK33E.

Tabla 7*Precisión de la red sobre superficies en las que se entrenó*

	Cierre	Culata	Pistolete	Varilla de Recuperación	Canon	Guarda -manos	Cargador	(5) Cañón +Pistolete	(6)5 +culata	(4)3 +culata	HK33E
Fondo de madera Luz natural	0.86	0.92	0.92	0.96	0.98	1	1	0.98	0.96	0.92	1
Fondo de madera Luz artificial	0.9	0.98	0.86	0.88	1	1	0.96	0.96	0.96	1	1
Fondo blanco Luz natural	0.92	1	1	0.86	1	1	1	0.98	0.8	0.94	1
Fondo blanco Luz artificial	0.86	0.92	0.84	0.74	0.96	0.9	0.96	0.98	0.98	0.96	1

5.1.2. Reconocimiento de las partes sobre una superficie no entrenada

Para realizar las pruebas de reconocimiento sobre una superficie no entrenada se tomaron las mismas consideraciones que el caso anterior por lo cual se usaron 50 muestras por cada una de las partes en cada una de las superficies y condiciones de luz, a saber luz uniforme evitando las sombras y luz directa sobre las piezas que pueda provocar un reflejo que cegó la imagen sobre esa parte, para estas pruebas se usaron colores solidos por medio de telas sobre la superficie de trabajo usando colores rosa y gris, siendo ambos colores no usados durante el entrenamiento además de proporcionar un contraste adecuado con las partes de color negro de la réplica del fusil HK33E. Los resultados obtenidos de estas pruebas se detallan a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8

Precisión de la red sobre superficies en las que no se entrenó

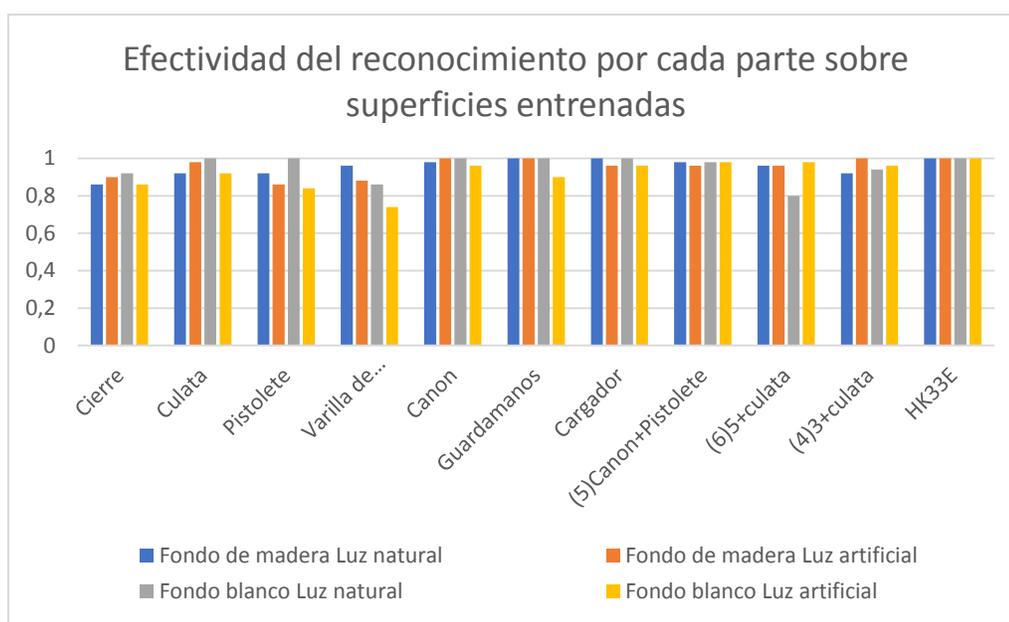
	Cierre	Culata	Pistolete	Varilla de Recuperación	Canon	Guarda- manos	Carga- dor	(5) Cañón +Pistolete	(6) 5 +culata	(4) 3 +culata	HK33E
Fondo color solido Rosa Luz natural	0.42	0.92	0.86	0.632653	0.88	0.9	0.86	0.9	0.84	0.87755 1	1
Fondo color solido Rosa Luz artificial	0.88	0.98	0.88	0.84	0.96	0.98	0.92	1	0.98	0.92	0.98
Fondo color solido Gris Luz natural	0.76	0.96	0.9	0.76	1	0.94	1	1	0.82	0.7	0.9
Fondo color solido Gris Luz artificial	0.84	1	1	0.88	1	0.94	0.94	0.94	0.98	0.9	0.94

5.1.3. Resultados de las pruebas de detección con la red YOLO

Al realizar las pruebas sobre las diferentes superficies se obtuvo como resultado un desempeño óptimo de la red, sobre las superficies en las que fue entrenada, su efectividad varía entre 0.8 para su valor más bajo pero con un promedio de 0.94 de efectividad, lo cual indica que el sistema de detección trabaja muy bien para estos casos al punto de reconocer las partes en diferentes posiciones y ubicaciones de la superficie de trabajo en un 94% de las veces, por lo cual el sistema será capaz de funcionar óptimamente si es que el mismo trabaja sobre las condiciones adecuadas, las cuales se refieren a luz uniforme de modo que se eliminen sombras y sin provocar reflejos sobre las partes de la réplica que puedan provocar problemas en la detección. En la Figura 77 se puede observar una gráfica comparativa de la precisión de detección de las partes frente a los entornos descritos en los cuales fue entrenada la red.

Figura 77

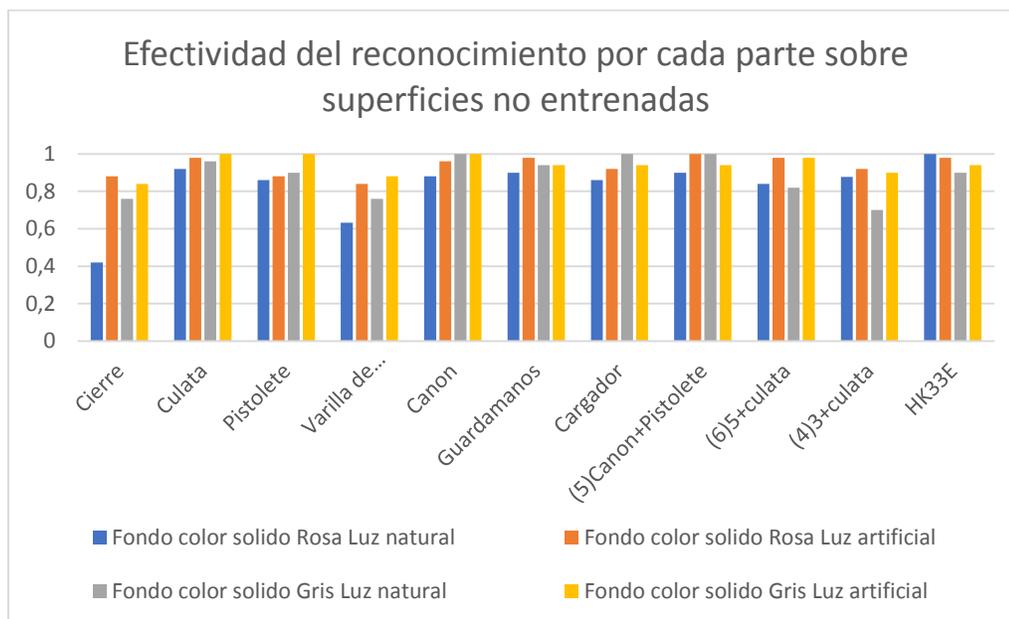
Gráfica de efectividad de detección en superficies entrenadas



En cuanto al desempeño de la red sobre superficies en las cuales no había sido entrenada se puede apreciar un cambio significativo en su precisión, siendo esta más baja que en los casos en los cuales fue entrenada, a pesar de esto, tiene un rendimiento aceptable. Como se puede apreciar en la Figura 78 las partes en las cuales se presentan más inconvenientes son el cierre y la varilla de recuperación, las cuales tienen una precisión más baja, sin embargo, se tuvo una efectividad promedio de 0.89 siendo 0.7 su nivel de efectividad más bajo.

Figura 78

Gráfica de efectividad de detección sobre superficies no entrenadas



5.1.4. Precisión del sistema en la detección de las partes de la réplica fusil HK33E sobre superficies entrenadas

Para determinar la precisión del sistema en cuanto a la detección de partes de la réplica del fusil se usó un recopilatorio de los resultados obtenidos para cada una de las partes.

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:

$f = \text{número de filas}$

$c = \text{número de columnas}$

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

$$\chi^2 = 80.1731$$

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 como se muestra en la Figura 79.

Figura 79

Tabla de valores críticos de chi cuadrado

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

Resultados:

$$\chi_{cal}^2 > \chi_{tab}^2 \Rightarrow \text{Hipotesis alternativa válida}$$

$$\chi_{cal}^2 < \chi_{tab}^2 \Rightarrow \text{Hipotesis nula válida}$$

$$80.1731 > 18.307$$

Tras realizar la comprobación se puede asegurar que se cumple la hipótesis alternativa: existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red fue entrenada.

5.1.5. Precisión del sistema en la detección de las partes de la réplica fusil HK33E sobre superficies no entrenadas

Para el análisis de la precisión de la red para superficies no entrenadas, se consideró la suma de los resultados de las 2 superficies no entrenadas en ambas condiciones luz natural y artificial.

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

Tabla 11*Chi cuadrado de precisión de detección sobre superficie no entrenada*

	Cierre	Culata	Pistolete	Varilla de Recuperación	Canon	Guardamanos	Cargador	(5)Cañón +Pistolete	(6) 5+Culata	(4) 3+Culata	HK33E	Total
Total Positivo	145	193	182	155	192	188	186	192	181	169	191	1974
Total Negativo	55	7	18	44	8	12	14	8	19	30	9	224
Total	200	200	200	199	200	200	200	200	200	199	200	2198

Tabla 12*Valores esperados*

Valores Esperados	Cierre	Culata	Pistolete	Varilla de de Recuperación	Canon	Guardamanos	Cargador	(5)Cañón +Pistolete	(6) 5+Culata	(4) 3+c Culata	HK33E
Total Positivo	179.6178	179.6178	179.6178	178.7197	179.6178	179.6178	179.6178	179.6178	179.6178	178.7197	179.6178
Total Negativo	20.38217	20.38217	20.38217	20.28025	20.38217	20.38217	20.38217	20.38217	20.38217	20.28025	20.38217

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

$$\chi^2 = 141.636$$

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 como se muestra en la Figura 79.

Resultados:

$$\chi_{cal}^2 > \chi_{tab}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{Hipotesis alternativa válida}$$

$$\chi_{cal}^2 < \chi_{tab}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{Hipotesis nula válida}$$

$$141.636 > 18.307$$

Tras realizar la comprobación se puede asegurar que se cumple la hipótesis alternativa: existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red no fue entrenada.

5.1.6. Resultados de encuestas

Para comprobar la hipótesis planteada se ha desarrollado una encuesta la cual fue aplicada a 5 elementos del personal militar tras la presentación del proyecto, estas cinco personas pudieron ver el funcionamiento del proyecto por medio de una demostración para luego usarlo y obtener un criterio sobre el mismo. La encuesta consta de 5 preguntas referentes al uso del sistema, las cuales se indican a continuación:

1. ¿El sistema es amigable con el usuario (fácil de utilizar) durante el desarrollo del proceso de montaje y desmontaje del Fusil HK-33E?
2. ¿El texto e imágenes brindan información clara sobre los pasos a seguir en el proceso de montaje y desmontaje del Fusil HK-33E?
3. ¿Cree usted que el sistema que acaba de utilizar brinde asistencia en el proceso de montaje y desmontaje del Fusil HK-33E?

4. ¿Cree usted que el sistema tiene un buen desempeño como herramienta de entrenamiento para un primer contacto con el fusil HK-33E?

Las 4 preguntas son referentes a la usabilidad del sistema y manejo de interfaz referentes a su facilidad de uso, desempeño y factibilidad como un primer contacto con el fusil HK-33E.

En la Tabla 13 se puede apreciar los resultados de las encuestas realizadas, e las cuales se obtuvo un desempeño óptimo del sistema, de estos resultados podemos extraer que el sistema tiene un buen desempeño como herramienta de entrenamiento, siendo este capaz de brindar asistencia durante el proceso de montaje y desmontaje. La información que muestra el programa es la adecuada para la aplicación siendo esta entendible y clara.

Tabla 13

Resultados de las encuestas realizadas al personal militar

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

Como resultado de los datos obtenidos de las encuestas se puede concluir que la hipótesis: un sistema mecatrónico que use técnicas de visión artificial para el reconocimiento de partes que componen el arma brindará asistencia virtual interactiva en el proceso de montaje y desmontaje del fusil HK-33E se cumple.

Capítulo VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. 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.
- Python permite un buen desarrollo de programas debido a su versatilidad y cantidad de información, el tema central del programa es el adecuado reconocimiento de las partes que componen el arma debido a que de allí se derivan los pasos a seguir, siendo esto importante para su buen desempeño se utilizó un nivel de confianza de 0.5 como valor de umbral para procurar un correcto desempeño en distintos entornos de trabajo.
- El sistema de reconocimiento trabaja de manera efectiva, la red fue entrenada con un total de 8315 imágenes sobre diferentes superficies y condiciones de luz, dando como resultado un sistema robusto capaz de detectar las partes de manera efectiva bajo condiciones de luz adecuadas.

- La interacción del programa y el usuario se realiza por medio de una interfaz gráfica desarrollada con ayuda de Tkinter, al mostrar información de forma textual y gráfica de todo el proceso de montaje y desmontaje del fusil HK-33E el usuario puede comprender de manera completa las acciones que debe realizar, se presentan además ventanas emergentes con información sobre el funcionamiento del programa, permitiendo al usuario conocer si el sistema ha culminado un proceso o presenta errores al ejecutar una acción.
- Se realizaron pruebas del sistema sobre superficies entrenadas y no entrenadas siempre manteniendo un buen contraste con las piezas y en condiciones de luz natural y artificial, concluyendo que el sistema es preciso en cuanto al reconocimiento de las partes del fusil HK-33E, obteniendo un 94% de efectividad promedio al trabajar sobre superficies entrenadas, mientras, en el trabajo de superficies sobre las cuales no se entrenó la red se alcanzó un valor promedio del 89% presentando mayores problemas en la detección del cierre y la varilla de recuperación, las cuales presentaron la efectividad más baja con valores de 42% y 63% respectivamente .
- El sistema tiene un buen desempeño trabando en condiciones de luz uniforme y sobre fondos que contrasten con las piezas consiguiendo niveles de confianza altos como lo son 0.9 o 1, en el caso de fondos con menos contraste o con demasiada luz que pueda reflejar sobre las piezas, la precisión del sistema se ve afectada considerablemente, disminuyendo a valores de hasta 0.5, por tal motivo se usó un valor de umbral ligeramente menor para poder trabajar sobre superficies no entrenadas sin sacrificar la precisión del sistema.

6.2. 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 el etiquetado del Dataset se recomienda que si se detiene el proceso y se cierra el programa (labellmg) al volver a iniciar el proceso se deben etiquetar en el mismo orden que se colocaron las clases debido a que el documento de texto guarda los valores que se les asignan a cada clase dependiendo del orden con que fueron etiquetados.
- 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.

Bibliografía

- 330 Ohms. (17 de Noviembre de 2020). *¿Cómo detectar objetos con YOLO?* Obtenido de 330 ohms: <https://blog.330ohms.com/2020/11/17/deteccion-de-objetos-con-yolo/>
- Alvaro Taipe, E. G., & Guascal Vélez, B. J. (2021). Diseño y construcción de un sistema de entrenamiento militar enfocado a polígonos de tiro mediante realidad virtual para mejorar la destreza del personal de las Fuerzas Armadas del Ecuador. *Tesis de Ingeniería*. Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" - Sede Latacunga, Latacunga.
- Amazon. (s.f.). *Amazon*. Obtenido de https://m.media-amazon.com/images/I/71am6vwkpML._SL1417_.jpg
- Arduino. (s.f.). *Arduino Nano*. Obtenido de arduino: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us>
- Arduino. (s.f.). *Arduino Nano*. Obtenido de Arduino: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-micro?selectedStore=us>
- Arduino. (s.f.). *Arduino UNO*. Obtenido de arduino: <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Armas, R. (30 de noviembre de 1999). *M16 [Imagen]*. Obtenido de armas.es: <https://www.armas.es/listado-armas/fusiles-de-asalto/m16>
- avelectronics. (s.f.). *STM32*. Obtenido de avelectronics: <https://avelectronics.cc/producto/arm-stm32/>
- Bajana Rodriguez, A., & Campuzano Caicedo, F. (6 de Mayo de 2017). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/frankstalin07/fusil-hk-33e>
- Bitfab. (s.f.). *warping y cracking*. Obtenido de bitfab: <https://bitfab.io/es/blog/problemas-impresion-3d/>

- Calvo, D. (12 de julio de 2017). *Definición de una red neuronal artificial*. Obtenido de diegocalvo: <https://www.diegocalvo.es/definicion-de-red-neuronal/>
- Comando de educación y doctrina del ejército. (2010). *Vademecum de selva*. Ejército Ecuatoriano.
- Contaval. (Febrero de 2016). *¿Que es la visión artificial y para que sirve?* Obtenido de Contaval: <https://www.contaval.es/que-es-la-vision-artificial-y-para-que-sirve/>
- Criollo, B. A., & Rondón, N. D. (2019). *MÉTODO DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE ARMAS DE MANO EN VIDEO*. Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiau4-awKryAhWKRTABHe94BVUQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Frepository.ucatolica.edu.co%2Fbitstream%2F10983%2F24010%2F1%2FM%25C3%25A9to%2520de%2520Detecci%25C3%25B3n%2520Autom%25C3%25A>
- Daniel, M. A. (2 de Diciembre de 2019). Empoderamiento de la conciencia situacional en operaciones militares utilizando realidad aumentada. Obtenido de <https://doi.org/10.35537/10915/86707>
- De, Z., Guozhang, L., Huaiguang, W., & Junning, Z. (2019). Weapon Equipment Auxiliary Maintenance Platform based on Augmented Reality Technology. *Advances in Computer Science Research (ACSR)*, 90, 381-388.
- DHgate. (s.f.). *Webcams OULLX [Imágen]*. Obtenido de dhgate: <https://es.dhgate.com/product/oullx-hd-1080p-webcam-built-in-microphone/577594305.html>
- filament2print. (16 de Enero de 2019). *Pieza funcional*. Obtenido de filament2print: https://filament2print.com/es/blog/49_petg.html
- Fisioterapia-UTN. (31 de Mayo de 2017). Obtenido de UTN-Licenciatura Terapia Física Médica:

<https://www.utn.edu.ec/fccss/carreras/terapiafisica/?p=1034#:~:text=Aprendizaje%20motor%20es%20el%20proceso,movimientos%20coordinados%20de%20forma%20automatizada.&text=Los%20movimientos%20m%C3%A1s%20t%C3%A9cnicos%20y,en%20la%20repetici%C3%B3n%20anal%C3%AD>

Ghandi, R. (9 de Julio de 2018). *Comparison of test-time speed of object detection algorithms*[Gráfica]. Obtenido de towardsdatascience:

<https://towardsdatascience.com/r-cnn-fast-r-cnn-faster-r-cnn-yolo-object-detection-algorithms-36d53571365e>

Guachamín Abata, M. B., & Calvache Reyes, O. J. (2010). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UTILLAJES, CALIBRES, HERRAMIENTAS Y MANUALES DE UTILIZACIÓN DE LOS MISMOS, EN EL MANTENIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE LOS FUSILES HK33E CALIBRE. 5,56 MM, A DESARROLLARSE EN LA FMSB S.A. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí.

Hinum, S. (15 de Enero de 2018). *Dell Inspiron 17*. Obtenido de notebookcheck:

<https://www.notebookcheck.org/Dell-Inspiron-17-7773-0043.278312.0.html>

Ichi. (26 de Noviembre de 2020). *Accuracy comparison* [Gráfica]. Obtenido de ichi:

<https://ichi.pro/es/deteccion-de-objetos-comparacion-de-velocidad-y-precision-faster-r-cnn-r-fcn-ssd-fpn-retinanet-y-yolov3-92519592026969>

INDRA. (s.f.). *Sistemas de entrenamiento*. Obtenido de indra:

<https://www.indracompany.com/es/sistemas-entrenamiento?business=1>

Jesús. (11 de febrero de 2020). *¿Qué es la detección de objetos?* Obtenido de

Datasmarts: <https://datasmarts.net/es/que-es-la-deteccion-de-objetos>

Lakritz, N. (11 de Junio de 2016). *Launch Party*. Obtenido de

<https://launchpartygaming.com/reviews/pc-reviews/2016/world-guns-gun-disassembly-review/>

- Lakritz, N. (11 de Junio de 2016). *World of Guns: Gun Disassembly Review*. Obtenido de Launch Party: <https://launchpartygaming.com/reviews/pc-reviews/2016/world-guns-gun-disassembly-review/>
- Marchante, A. (5 de Mayo de 2020). *Segmentos de fibra de carbono en el filamento para reforzarlo*. Obtenido de 3dnatives: <https://www.3dnatives.com/es/fibra-de-carbono-impresion-3d-05052020/>
- Massimi, M. (s.f.). *Sensor infrarrojo básico*. Obtenido de murkyrobot: https://www.murkyrobot.com/guias/sensores/sensor-infrarrojo-basico?__cf_chl_f_tk=EzCiWOEohjVFCPRxiW.jpMrng73sWWWcd5vUxTs6fU4-1642295647-0-gaNycGzNCD0
- Mercado libre. (s.f.). *Lámpara de mesa velador escritorio morsa dibujo técnico led*. Obtenido de Mercado Libre: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-791712113-lampara-de-mesa-velador-escritorio-morsa-dibujo-tecnico-led-_JM
- Ministerio de Defensa. (2017). *Agenda de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el sector defensa*. Obtenido de Ministerio de Defensa: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/11/agenda_de_investigaci%C3%B3n_desarrollo_tecnol%C3%B3gico_e_innovaci%C3%B3n_para_el_sector_defensa_2014-2017.pdf
- Morales, L. E. (7 de Diciembre de 2018). *Asistente Virtual para la Instrucción de Material Bélico utilizando Visión por Computador y Realidad Aumentada*. Ambato.
- Na8. (29 de Noviembre de 2018). *¿Cómo funcionan las Convolutional Neural Networks? Visión por Ordenador*. Obtenido de Aprende Machine Learning: <https://www.aprendemachinelearning.com/como-funcionan-las-convolutional-neural-networks-vision-por-ordenador/>

Na8. (21 de agosto de 2020). *Modelos de Detección de Objetos*. Obtenido de Aprende Machine Learning: <https://www.aprendemachinlearning.com/modelos-de-deteccion-de-objetos/>

Naciones Unidas. (2020). *Fundamentos sobre armas de fuego y municiones*. Obtenido de Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC): https://www.unodc.org/documents/e4j/Firearms/E4J_Firearms_Module_02_-_Basics_on_Firearms_and_Ammunition_ES_final.pdf

Noble Empire Corp. (21 de Mayo de 2014). *World of Guns: Gun disassembly*. Obtenido de Steam: https://store.steampowered.com/app/262410/World_of_Guns_Gun_Disassembly/?l=spanish

Nvidia. (s.f.). *Jetson AGX Xavier*. Obtenido de nvidia developer: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-agx-xavier-developer-kit>

Nvidia. (s.f.). *Jetson Nano Developer Kit [Imágen]*. Obtenido de nvidia developer: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>

Orlando, D. R. (2018). *Desarrollo de un sistema de detección de armas de fuego cortas en el monitoreo de videos de cámaras de seguridad*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Recuperado el 11 de Agosto de 2021, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiau4-awKryAhWKRTABHe94BVUQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F16793%2F1%2FUPS-CT008099.pdf&usg=AOvVaw3S2TYWKmEoJclhwyLmXnA_

Ortiz Rendón, A. M., & Cárdenas Arias, M. E. (2019). Diseño y construcción de un equipo robótico para la rehabilitación de extremidades superiores, para

pacientes con daño cerebral adquirido (DCA). *Tesis de Ingeniería*. Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" - Sede Latacunga, Latacunga.

Penington, K. (19 de Noviembre de 2019). *Powerful Example: Army starts using augmented reality to help maintain weapons*. Obtenido de Defense Acquisition University: <https://www.dau.edu/powerful-examples/Blog/Powerful-Example--Army-starts-using-augmented-reality-to-help-maintain-weapons>

Pérez Ortiz, K. A., & Morales Antamba, K. D. (2019). Diseño e implementación de un prototipo de simulador virtual de laparoscopia para el entrenamiento de habilidades de médicos cirujanos. *Tesis de Ingeniería*. Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" - Sede Latacunga, Latacunga.

QAZ. (09 de Septiembre de 2020). Qw. Obtenido de https://es.qaz.wiki/wiki/Firearm_maintenance

Raspberry. (s.f.). *Raspberry Pi 3 Model B*. Obtenido de raspberrypi: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>

Redmon, J. C. (2018). *Comparison to Other Detectors [Gráfica]*. Obtenido de pjreddie: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

Revista Ejército Nacional. (Febrero de 2020). La transformación militar y el aporte de la investigación, desarrollo y innovación tecnológica. *El Ejército Nacional*(202), 69-73.

STEAM. (2016). *World of Guns: Gun Disassembly*. Obtenido de Steam: https://store.steampowered.com/app/262410/World_of_Guns_Gun_Disassembly/?l=spanish

Texas Parks & Wildlife. (s.f.). *Armas de fuego y municiones*. Obtenido de Texas Parks & Wildlife: <https://tpwd.texas.gov/education/hunter-education/educacion-para-cazadores/capitulo->

Anexos