



Sistema para práctica de polígono el seguimiento y mejoramiento en la ejecución de disparos

Carlos Sebastian Reyes Rojas

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ibagué, Colombia
2020

Sistema para práctica de polígono el seguimiento y mejoramiento en la ejecución de disparos

Carlos Sebastian Reyes Rojas

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero electrónico

Director:
Ricardo Pino Diaz

Línea de Investigación:
Ciencias Naturales, Exactas y Aplicadas, Procesamiento digital de imágenes.

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ibagué, Colombia
2020

(Dedicatoria o lema)

A Dios y mis padres que con su esfuerzo y dedicación me han permitido culminar esta etapa de la vida y me han formado como una persona de buenos valores.

“La felicidad solo es real cuando es compartida”

Into the wild.

Agradecimientos

Con el fin de obtener los mejores resultados y poder realizar el proyecto en su totalidad y cumpliendo los objetivos propuestos agradezco al ingeniero Ricardo Pino, por su disposición a resolver las inquietudes generadas a lo largo del proyecto.

A teniente (R) Ferley Beltrán, familiar y amigo que me aportó parte de su experiencia para la comprensión en la ejecución de disparos y de polígonos de tiro.

A mis padres y familia que siempre han estado presentes para ofrecerme su apoyo en cada ámbito que me permitiera mejorar.

Resumen

El presente trabajo muestra la construcción de un sistema de polígono el cual permite realizar practica de polígono con un arma didáctica acondicionada, esto con el fin de evitar los daños y lesiones provocadas por la constante realización de dicha práctica. El software tiene en cuenta diferentes parámetros tanto del proyectil como del ambiente en el cual se encuentre la persona y está diseñado para que las practicas se puedan realizar al aire libre, con el fin de buscar una mejor adaptación del tirador al ambiente.

El sistema es capaz de detectar el punto laser que genera el disparar el arma didáctica construida con el fin de emular el accionar de un arma de fuego, dicha imagen con el punto laser detectado se procesa teniendo en cuenta los diferentes parámetros introducidos para luego mostrar al usuario los tiros realizados y ver cuales fueron efectivos.

Por último, el sistema de practica permite generar un reporte donde se relacionan los parámetros introducidos y los resultados obtenidos, todo con esto fin de llevar un seguimiento del practicante y mejorar en la ejecución de disparos.

Durante la puesta en marcha de diferentes practicas se logra comprender las implicaciones del ambiente en la trayectoria de un proyectil.

Palabras clave: polígono, balística, procesamiento imágenes, simulación, movimiento proyectiles.

Abstract

The present work shows the construction of a polygon system which allows polygon practice with a conditioned didactic weapon, this in order to avoid damage and injuries caused by the constant performance of said practice. The software takes into account different parameters of both the projectile and the environment in which the person is located and is designed so that the practices can be carried out in the open air, in order to find a better adaptation of the shooter to the environment.

The system is capable of detecting the laser point generated by firing the didactic weapon built in order to emulate the operation of a firearm, the image with the detected laser point is processed taking into account the different parameters entered and then shown to the user the shots taken and see which ones were effective.

Finally, the practice system allows to generate a report where the parameters entered and the results obtained are related, all with this in order to keep track of the practitioner and improve the execution of shots. During the implementation of different practices, it is possible to understand the implications of the environment in the trajectory of a projectile.

Keywords: polygon, ballistics, image processing, simulation, projectile movement.

Contenido

Resumen	VIII
Lista de figuras	XII
Lista de tablas	XIV
Introducción	17
1. Marco Teórico	23
1.1 Movimiento de proyectiles	23
1.1.1 ¿Qué es un proyectil?	23
1.1.2 Modelo ideal del movimiento de proyectiles	23
1.1.3 Movimiento de proyectiles con resistencia del aire	27
1.1.4 Movimiento de proyectiles con resistencia del medio	30
1.2 Balística	35
1.2.1 Balística Interior	35
1.2.2 Balística Exterior	36
1.2.3 Balística Terminal	36
1.3 Munición	36
1.3.1 Bala o Proyectil	37
1.4 Armas de Fuego	38
1.4.1 Armas Largas	39
1.4.2 Armas Cortas	39
1.5 Antecedentes	40
1.5.1 Trabajos Similares	40
1.6 Estado Del arte	41
1.6.1 Tecnología en los primeros simuladores	41
1.6.2 Simuladores de Tiro en la actualidad	41
2. Visión Artificial y Elementos de Interacción	45
2.1 Procesamiento digital de imágenes	45
2.1.1 Captura del puntero laser	46
2.1.2 Tratamiento Imágenes - Detección punto laser	48
2.1.3 Medidas imagen digital a medidas reales	50
2.1.4 Movimiento pixeles - cm en la imagen	52
2.2 Diseño y creación del arma a usar	54
2.3 Blanco de tiro	55
2.4 Camara Web	57
2.5 Sistema de polígono al aire libre	57
3. Implementación Física y de Software	59
3.1 Panel principal del programa	59
3.1.1 Programación de las ecuaciones balísticas	61
3.1.2 Integración de openCv y C#	62
3.2 Pruebas Iniciales	63

3.2.1 Resultados Obtenidos	65
4. Conclusiones	76
A. Anexo A: Tutorial empleo del software	77
B. Anexo B: Blancos Practicante A	83
C. Anexo C: Blancos Practicante B	85
D. Anexo D: Blancos Practicante C	87
E. Anexo C: Registro fotográfico pruebas de campo.....	89
Bibliografía	93

Lista de figuras

	Pág.
Figura. 0-1: Esquema del sistema Fuente: Autor.	21
Figura. 1-1: Descripción movimiento parabólico. Fuente Serway cap.4.	24
Figura. 1-2: Fuerza resistiva de un objeto al caer a través del aire. Fuente (Serway, 2008).	27
Figura. 1-3: Balista (interior, exterior, terminal) Fuente: Autor.	36
Figura. 1-4: Anatomía de una munición. Fuente (Delito, s.f.).....	37
Figura. 1-5: Partes de una munición calibre 5,56mmx45mm. Fuente. Autor.....	38
Figura. 1-6: Fusil de asalto Galil Ace 23. Fuente (Indumil.org, s.f.)	39
Figura. 1-7: Pistola Córdoba estándar. Fuente (indumil.org, s.f.).....	39
Figura. 1-8: Pistola Zapper de Nintendo.	41
Figura. 1-9: Sala de simulación VirTra (VirTra, 2020).	42
Figura. 1-10: Simulador de Indra iVictrix (Indra, s.f.).	43
Figura. 1-11: Simulador FAST 100Mil (Meggitt, s.f.).....	43
Figura. 1-12: Simulador de polígono Codaltec (Codaltec).....	44
Figura. 2-1: Etapas Procesamiento Imágenes (Garcia, 2002).	45
Figura. 2-2: Valores RGB para diferentes colores (sites.google, s.f.).	47
Figura. 2-3: Marca del blob. Fuente Autor	47
Figura. 2-4: HSV. Fuente. (MathWorks, 2020).....	48
Figura. 2-5: Variación Colores (Medium, s.f.).	49
Figura. 2-6: Contornos de las marcas encontradas. Fuente Autor.....	49
Figura. 2-7: Centro de los contornos. Fuente Autor.....	50
Figura. 2-8: Puntos centrales de los contornos. Fuente. Autor	50
Figura. 2-9: Tamaño Blanco y Tamaño Imagen. Fuente Autor.	51
Figura. 2-10: Distribución Pixeles. Fuente Autor.	52
Figura. 2-11: Movimiento Pixel – Centímetro.....	53
Figura. 2-12: Arma didáctica recreada. Fuente Autor.....	54
Figura. 2-13: Laser en el cañón del arma. Fuente. Autor.	55
Figura. 2-14: Botón para accionar el arma. Fuente. Autor.	55
Figura. 2-15: Tamaño de un blanco a 300 en 25metros. Fuente (FM 3-22.9 RIFLE MARKSMANSHIP, 2008).	56
Figura. 2-16: Cámara Web. Fuente Autor.....	57
Figura. 2-17: Sistema Polígono al aire libre. Fuente. Autor.....	58
Figura. 3-1: Diagrama de flujo Software. Fuente Autor.	59

Figura. 3-2: Principales partes de la interfaz gráfica de Windows forms. Fuente Autor. .	60
Figura. 3-3: Diagrama de Flujo Cálculos Trayectoria final. Fuente Autor.	61
Figura. 3-4: Diagrama de flujo interacción C# y C++. Fuente Autor.....	62
Figura. 3-5: Montaje sistema polígono al aire libre. Fuente. Autor.....	63
Figura. 3-6: Vista del blanco más de 3 metros. Fuente Autor.	64
Figura. 3-7: Ubicación del usuario. Fuente. Autor.	64
Figura. 3-8: Software en funcionamiento. Fuente. Autor.....	65
Figura. 3-9: Rendimiento Practicante A. Fuente Autor.	68
Figura. 3-10: Rendimiento Practicante B. Fuente Autor.	69
Figura. 3-11: Rendimiento Practicante c. Fuente Autor.....	69
Figura. 3-12: Rendimiento practicante en nivel bajo. Fuente Autor.	72
Figura. 3-13: Rendimiento practicante en nivel alto. Fuente Autor.	72
Figura. 3-14: Sistema de practica para prueba nocturna. Fuente Autor.	73
Figura. 3-15: Iluminación del blanco desde cámara web. Fuente Autor.	74
Figura. 3-16: Detección de la luz incidente de la cámara web. Fuente Autor.....	74
Figura. 3-17: Practicante apuntando al blanco. Fuente Autor.	75
Figura. 3-18: Detección punto laser nocturno. Fuente Autor.....	75
Figura. A-1: Apariencia panel principal. Fuente. Autor.....	77
Figura. A-2: Practica del sistema calibración. Fuente Autor.....	78
Figura. A-3: Practica del sistema ingreso parámetros. Fuente Autor.	79
Figura. A-4: Practica del sistema inicio práctica. Fuente Autor.....	80
Figura. A-5: Practica del sistema fin práctica. Fuente Autor.	80
Figura. A-6: Practica del sistema generación documento. Fuente Autor.....	81
Figura. A-7: Practica del sistema reinicio o fin de la práctica. Fuente Autor.....	82
Figura. B-1: Resultados Blanco Prueba 1, Practicante A. Fuente Autor.....	83
Figura. B-2: Resultados Blanco Prueba 2, Practicante A. Fuente Autor.....	83
Figura. B-3: Resultados Blanco Prueba 3-I, Practicante A. Fuente Autor.	84
Figura. B-4: Resultados Blanco Prueba 3-II, Practicante A. Fuente Autor.	84
Figura. C-1: Resultados Blanco Prueba 1, Practicante B. Fuente Autor.....	85
Figura. C-2: Resultados Blanco Prueba 2, Practicante B. Fuente Autor.....	85
Figura. C-3: Resultados Blanco Prueba 3-I, Practicante B. Fuente Autor.	86
Figura. C-4: Resultados Blanco Prueba 3-II, Practicante B. Fuente Autor.	86
Figura. D-1: Resultados Blanco Prueba 1, Practicante C. Fuente Autor.	87
Figura. D-2: Resultados Blanco Prueba 2, Practicante C. Fuente Autor.	87
Figura. D-3: Resultados Blanco Prueba 3-I, Practicante C. Fuente Autor.	88
Figura. D-4: Resultados Blanco Prueba 3-II, Practicante C. Fuente Autor.	88
Figura. E-1: Practicante A probando el sistema. Fuente Autor.	89
Figura. E-2: Práctica con el sistema. Fuente Autor.	90
Figura. E-3: Practicante B, probando el sistema. Fuente Autor.	90
Figura. E-4: Práctica con el sistema. Fuente Autor.	91
Figura. E-5: Practicante C, Probando el sistema. Fuente Autor.....	91
Figura. E-6: Practica con el sistema. Fuente Autor.	92

Lista de tablas

	Pág.
Tabla. 1-1: Formulas del modelo ideal.	26
Tabla. 2-1: Movimiento Proyectil y Pixel.....	53
Tabla. 2-2: Blancos para 300 m. Fuente (International shooting Sport Federation, s.f.)..	56
Tabla. 3-1: Parámetros establecidos para práctica nivel bajo. Fuente Autor.	66
Tabla. 3-2: Resultados obtenidos primera práctica. Fuente Autor.....	66
Tabla. 3-3: Parámetros establecidos para práctica nivel medio. Fuente Autor.	66
Tabla. 3-4: Resultados obtenidos segunda práctica. Fuente Autor.	67
Tabla. 3-5: Parámetros establecidos para práctica de nivel alto I. Fuente Autor.	67
Tabla. 3-6: Resultados obtenidos tercera prueba. Fuente Autor.	67
Tabla. 3-7: Parámetros establecidos para práctica nivel alto II. Fuente Autor.	67
Tabla. 3-8: Resultados obtenidos cuarta prueba. Fuente Autor.	68
Tabla. 3-9: Parámetros practica nivel bajo. Fuente Autor.	70
Tabla. 3-11: Resultados prueba de nivel bajo. Fuente Autor.....	70
Tabla. 3-12: Parámetros prueba de nivel alto-II, Fuente Autor.....	71
Tabla. 3-13: Resultados Prueba de nivel alto II. Fuente Autor.	71

Introducción

Dentro de los polígonos de tiro a pesar de tener muchas precauciones para su práctica existen situaciones en la que los tiradores están expuestos y que son casi imperceptibles. Luego de realizar un disparo con arma de fuego quedan residuos en el organismo que no podemos percibir (Jiménez, 2011) (Lemus., 2018), el plomo es uno de ellos y se estima que es la causa de 143.000 muertes cada año (Azcona-Cruz, Ramírez y Ayala, & Vicente-Flores, 2015) en un estudio realizado por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), han mostrado que las personas que realizan dicha práctica muestran un elevado nivel de plomo en sus cuerpos ((NIOSH), 2010).

Otro de los peligros a los que se exponen los practicantes de polígono son los auditivos, algunos estudios hablan de los peligros del ruido laboral (Ramírez, Carrasco, Mariani, & Palacios, 2006) (Industrial, 2011) ,en una escala de ruido de la compañía Honeywell, se tienen en el punto más alto de peligros en decibeles el disparo de un arma de fuego (HoneyWell, s.f.). Dentro del campo de acción del proyecto existen también estudios que se han realizado y relacionado la práctica de polígono con las lesiones auditivas en algunos practicantes (Dr Hernández Sánchez, 2013) (HEIDY PAOLA CONDE BARRERO, 2009) ((NIOSH), 2010) (Leonel Cofre Maza, s.f.).

Es por estas razones mencionadas anteriormente que se plantea la creación de un sistema de práctica de polígono con armas didácticas y modificadas para eliminar los problemas que causa el practicarlo de forma permanente en un campo de tiro real, el sistema se

acoplará a las necesidades básicas que requieran un adiestramiento y conocimiento más amplio de los métodos de disparo y como realizar cálculos para un excelente tiro.

Justificación

El ser humano es un ser de costumbres y que se adapta a cualquier medio “el hombre es un procesador de información, cuya actividad fundamental es recibir información, elaborarla y actuar de acuerdo a ella...” (Gagné, 1987), así entonces podemos destacar que el hombre permanece en un constante aprendizaje y que es el resultado de lo vivido “Se aprenden no solo hábitos, conocimientos, y habilidades, sino también actitudes, rasgos volitivos, emociones, sentimientos y necesidades...” Y “Sin embargo, la personalidad humana es fundamentalmente un producto del aprendizaje.” (Diego J., 2017).

En un estudio realizado por los doctores Dr. Ramón S. Salas Perea y Dr. Plácido Ardanza Zulueta se exponen como las simulaciones son un excelente método de enseñanza “los diversos tipos de simulación disponibles pueden utilizarse no sólo para el mejoramiento de las técnicas de diagnóstico, tratamiento y de resolución de problemas, sino también para mejorar las facultades psicomotoras y de relaciones humanas, donde en ocasiones pueden ser más eficaces que muchos métodos tradicionales...” (Salas Perea, 1995), también en Apertura Revista de Innovación Educativa, en uno de sus artículos expone el uso de simuladores, “Del análisis del trabajo se desprende que existe un bajo porcentaje de docentes que utilizan simuladores en la práctica, pero en los momentos en que hubo prácticas de clase con ellos, se evidenció un ambiente de enseñanza-aprendizaje favorable en los temas de matemáticas, física y de programación..” (Gloria Contreras, 2010).

La realización del proyecto resulta ser pertinente para la solución a los problemas físicos que se encuentran implícitos en la práctica de polígono, pues gracias a los avances tecnológicos que tenemos es fácil recrear varios escenarios, así entonces la integridad auditiva y exposición al plomo serán eliminados completamente y se concentrará en el adiestramiento, práctica y ejecución de tiros de forma efectiva teniendo en cuenta los criterios físicos que conlleva, sabiendo que la práctica constante es un determinante para el mejoramiento y afinamiento de alguna tarea.

El proyecto se adapta perfectamente a la necesidad de contrarrestar las lesiones por audición e intoxicación con plomo pues no se usarán elementos que provoquen dichos problemas, al eliminarse los problemas físicos que causa un entrenamiento real el proyecto se centra en adiestrar al personal en los cálculos que traen consigo realizar un tiro y que sea efectivo. La mayoría de simuladores de polígono en el mercado recrean escenarios con diferentes situaciones en ambientes encerrados y controlados ayudando al militar a reaccionar de forma rápida y mejorando su motricidad (Indra, s.f.) (VirTra, s.f.) (Carrillo, 2010) (Codaltec).

Objetivos

Con el fin de obtener resultados exitosos y cumplir con el correcto desarrollo del proyecto se plantean los siguientes objetivos para su ejecución.

Objetivo General

Diseñar y construir un sistema para entrenamiento de polígono, que mediante el disparo de un láser permita medir la evolución del tirador potenciando su rendimiento en la ejecución de disparos.

Objetivos Específicos

Para dar cumplimiento al objetivo general se requieren cubrir diferentes etapas del proyecto, en las cuales se plantean los siguientes objetivos específicos:

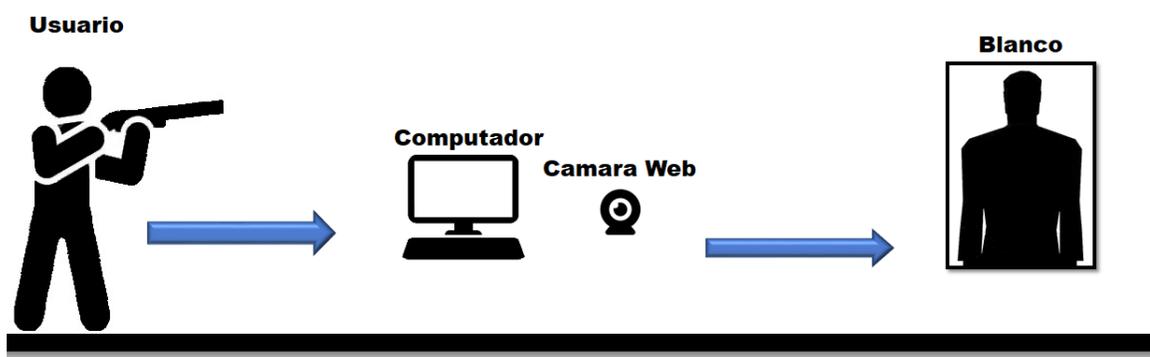
- 1) Acondicionar armas didácticas que simulan el funcionamiento real para hacer el disparo del láser.
- 2) Crear la infraestructura tecnológica necesaria para determinar el punto de impacto en el blanco.
- 3) Plantear las ecuaciones necesarias para determinar las trayectorias balísticas.
- 4) Diseñar y crear un software adecuado para implementar las ecuaciones balísticas necesarias.
- 5) Procesar y analizar las imágenes que nos permitan obtener los datos necesarios para determinar el punto final del proyectil.
- 6) Recrear un entorno físico que nos permita simular el disparo de un proyectil evitando así sus consecuencias físicas que trae hacerlo con un arma de fuego real.

Alcance

El proyecto recreará un escenario físico con un arma didáctica modificada que al accionarla disparará un láser y nos permitirá simular un disparo con arma de fuego, el cual conociendo las características reales de los proyectiles se conocerán las trayectorias balísticas bajo diferentes ambientes climáticos. Así mismo permitirá tener un seguimiento de los resultados en cada práctica, y se podrá evaluar el desempeño de cada soldado y posible mejoramiento en sus habilidades. Sin el uso de armamento y munición real se podrán realizar prácticas de tiro sin tener daños físicos por dicho entrenamiento. La principal limitación que presenta el proyecto será no permitirle al usuario nuevo en la práctica experimentar la sensación de accionar un arma de fuego real.

Esquema Funcionamiento del sistema

Figura. 0-1: Esquema del sistema Fuente: Autor.



Usuario: Persona que realizará la práctica de polígono y tendrá un seguimiento de cada practica realizada para ver su mejoramiento.

Computador: Permite la ejecución del software creado para la poder observar los resultados de cada tirador.

Camara Web: Encargada de obtener las imágenes del blanco para luego ser procesadas en el software.

Blanco: Silueta o blanco de tiro en la cual el usuario realizará sus disparos teniendo en cuenta las diferentes variables que sean programadas en el software.

Metodología

I. Estudio teoría física:

- Estudio y comprensión de la física implícita dentro de las trayectorias de proyectiles.
- Estudio de las características físicas de los elementos empleados en un disparo (armas, miras, munición).
- Estudio de la balística exterior sus técnicas y variables empleadas para la realización de disparos.

II. Búsqueda y adecuación de elementos físicos:

- Búsqueda de elementos que permitan la interacción en el mundo físico (armas didácticas, blancos).
- Modificación del arma didáctica para que al accionarla dispare un láser al punto donde apuntábamos en el blanco.

III. Simulación y software:

- Se creará un software para la implementación de las ecuaciones balísticas y su comportamiento bajo diferentes condiciones ambientales.

1.Marco Teórico

1.1 Movimiento de proyectiles

En esta sección del proyectil se explicará las diferentes variables que intervienen en un movimiento de proyectil, empezando por su definición de proyectil, modelo ideal hasta su comportamiento con resistencia del aire.

1.1.1 ¿Qué es un proyectil?

El concepto de proyectil se suele asociar generalmente con las armas de fuego, la Real Academia Española (R.A.E) define un proyectil como: “Cuerpo arrojado, especialmente si se lanza con arma de fuego” (Española, s.f.). Esto nos sugiere entonces que un proyectil puede ser cualquier objeto lanzado hacia un objetivo específico, este tendrá una dirección, fuerza de empuje, energía y muchos factores más.

Para este caso en el desarrollo de proyecto asociaremos proyectil como una bala que es lanzada por un arma de fuego.

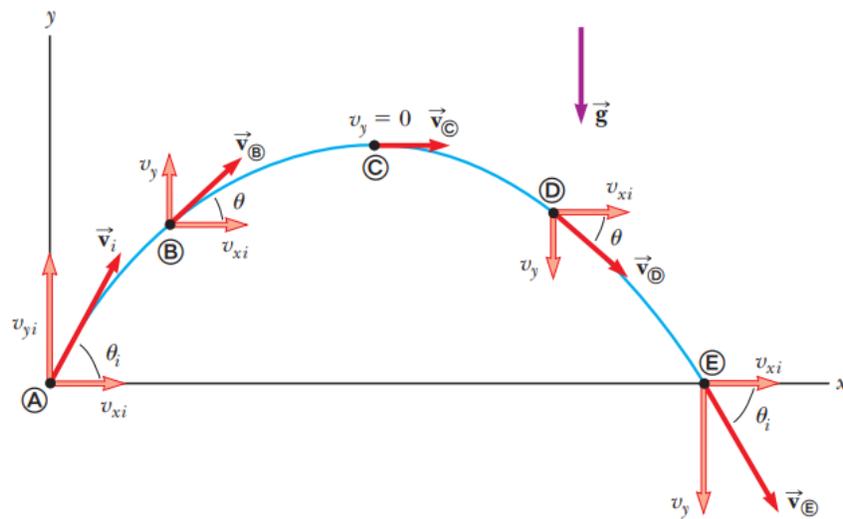
1.1.2 Modelo ideal del movimiento de proyectiles

Un objeto lanzado al aire describe una trayectoria con velocidad inicial como se muestra en la [Figura 1-1](#), dirección y representa una trayectoria curva, todo esto es bajo un modelo

ideal, en el cual no hay rozamiento de ningún tipo, es decir lanzado al vacío y que posee las siguientes características:

- Tiempo de vuelo
- Altura máxima (y).
- Alcance máximo (x).

Figura. 1-1: Descripción movimiento parabólico. Fuente Serway cap.4.



$$C_y = V_i * \text{Sen}\theta$$

$$C_x = V_i * \text{Cos}\theta$$

Componentes velocidades

Teniendo en cuenta las componentes del movimiento parabólico mientras cae se puede determinar:

Tiempo de Vuelo: Es la duración del objeto en el aire hasta impactar el blanco.

$$v_f = v_i + g * t$$

$$v_y = v_i - \text{Sen}\theta - g * t$$

$$v_i * \text{sen}\theta = g * t$$

$$\frac{v_i * \text{sen}\theta}{g} = t_i$$

Donde:

t_i : Tiempo se subida

$$t_2 = 2 * t_i$$

$$t_2 = 2 * \frac{v_i * \text{sen}\theta}{g} \quad (1)$$

Altura Máxima: Es el punto más alto que alcanzará el proyectil en el aire, para luego iniciar su descenso.

$$h = v_i * t - \frac{1}{2} g * t^2$$

$$h = v_i * t - \frac{1}{2} g * t^2$$

$$c_y = v_i * \text{sen}\theta ; \frac{v_i * \text{sen}\theta}{g} = t_i$$

$$h = v_i * \text{sen}\theta * \frac{v_i * \text{sen}\theta}{g} - \frac{1}{2} g * \left(\frac{v_i * \text{sen}\theta}{g} \right)^2$$

$$h = \frac{v_i^2 * \text{sen}^2\theta}{g} - \frac{1}{2} g * \frac{v_i^2 * \text{sen}^2\theta}{g^2}$$

$$h = \frac{v_i^2 * \text{sen}^2\theta}{g} - \frac{1}{2} \frac{v_i^2 * \text{sen}^2\theta}{g}$$

$$h = \frac{v_i^2 * \text{sen}^2\theta}{g} - \frac{v_i^2 * \text{sen}^2\theta}{2g}$$

$$h = \frac{v_i^2 * \text{sen}^2\theta}{2g} \quad (2)$$

Alcance Máximo: Distancia máxima recorrida por el objeto en el eje (x) hasta llegar al blanco o punta final.

$$x = v_i * t$$

$$Tt = 2 * \frac{vi * \text{sen}\theta}{g}$$

$$rx = vi * \text{cos}\theta$$

$$x = vi * \text{cos}\theta * 2 * \frac{vi * \text{sen}\theta}{g}$$

$$x = 2 * \frac{vi^2 * \text{sen}\theta * \text{cos}\theta}{g}$$

$$\text{sen}(2x) = 2\text{sen}x\text{cos}x$$

$$x = \frac{vi^2 * \text{Sen}(2)\theta}{g} \quad (3)$$

Para el modelo ideal tendríamos las siguientes formulas ([Tabla 1-1](#)).

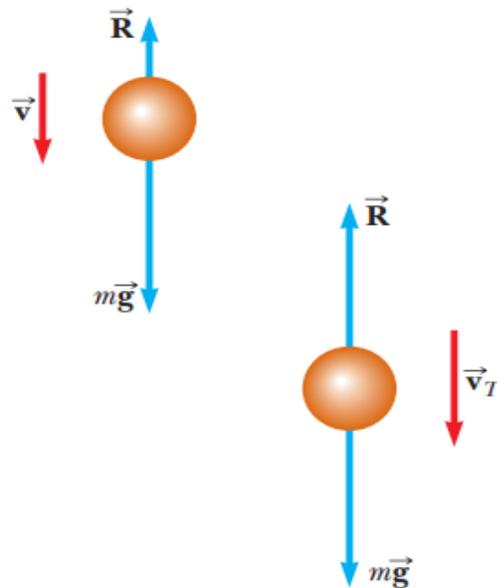
Tabla. 1-1: Formulas del modelo ideal.

Modelo Ideal	
Tiempo de vuelo Ascenso	$t_a = \frac{v_i \text{sen}\theta}{g}$
Altura máxima	$h = \frac{v_i^2 \text{sen}^2\theta}{2g}$
Alcance Máximo	$x = \frac{v_i^2 * \text{sen}2\theta}{g}$
Velocidad Inicial x	$v_{ix} = v_i * \text{Cos}\theta$
Velocidad Inicial y	$v_{iy} = v_i * \text{Sen}\theta$
Posición en x	$x = x_0 + v_x * t$
Posición en y	$y = y_0 + v_{0y} * t + \frac{1}{2} * a_y * t^2$

1.1.3 Movimiento de proyectiles con resistencia del aire

Un objeto que se mueve a través del medio al entrar en contacto con el aire este creará una resistencia al desplazamiento del objeto, esto se conoce como fuerza de arrastre, (ver [Figura 1-2](#)).

Figura. 1-2: Fuerza resistiva de un objeto al caer a través del aire. Fuente (Serway, 2008).



Mientras el proyectil se encuentra en el aire será sometido a diferentes fuerzas y se parte de la 2da ley de newton que dice:

$$F = ma$$

Esta es la fuerza que actuará en todo momento sobre el proyectil, su fuerza neta estaría compuesta por la fuerza del aire ejercida sobre el objeto y la fuerza de gravedad, tendríamos lo siguiente.

$$F_{neta} = Fuerza_{gravedad} + Fuerza_{aire}$$

$$F_n = F_g + F_a$$

Donde:

$$F_g = -g$$

$$F_a = F_{Drag} = R = \frac{1}{2} D \rho A v^2 \quad (1).$$

Fuerza de arrastre (rozamiento) (Serway, 2008): Es la resistencia o fuerza que ejerce un fluido sobre un cuerpo solido al desplazarse a través de él para reducir su velocidad, y está definida de la siguiente forma:

$R = f d$ = Fuerza de arrastre. (*newton*).

$CD = D$ = Coeficiente de arrastre o en este caso llamado *coeficiente balístico*.

$A = S$ = Área de sección transversal. m^2

ρ = Densidad del aire. $\frac{kg}{m^3}$

v = velocidad del objeto. $\frac{m}{s}$

Densidad del aire: Como el sistema varía dependiendo factores climáticos es conveniente tener en cuenta una formula simplificada por la CIPM (Comité Internacional de Pesas y Medidas) (metrologia, 2015) la cual toma diferentes componentes que podremos medir fácilmente, dicha formula es la siguiente:

$$\rho_a = \frac{0,34848p - 0,009RH * \exp^{(0,061t)}}{273,15 + t}$$

Donde:

$$\rho_a = \frac{Kg}{m^3}$$

p = Presión barométrica en hPa.

RH = Humedad relativa del aire en %.

t = temperatura del aire en °C.

Área de sección transversal: Corte perpendicular al eje largo del proyectil, que es una figura geométrica y para esta se obtiene su área de sección transversal:

$$A = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4}$$

Donde:

$$A = S = m^2$$

π = valor definido como 3.1416.

d = calibre del proyectil.

Coefficiente de arrastre o Coeficiente balístico: El coeficiente balístico (BC) se describe cómo la resistencia o capacidad que tiene el proyectil de moverse a través del aire sin tener muchas fluctuaciones en su trayecto. Generalmente este dato es proporcionado por el fabricante.

Se define de la siguiente forma:

$$CB: \frac{DS}{i}$$

Donde:

DS : Densidad seccional

i : Factor de forma

Y de esta forma

$$DS: \frac{\text{Peso Proyectil (Kg)}}{(\text{diametro de la bala}^2)}$$

1.1.4 Movimiento de proyectiles con resistencia del medio

Retomando la ecuación de la 2da ley de newton:

$$F = ma$$

Debemos reescribir la ecuación para la fuerza de arrastre del aire

$$F_a = F_{Drag} = \frac{1}{2} CD * \rho * A * V * |v|^2 = ma \quad (1).$$

Agregamos V y $|v|^2$ que son la velocidad del proyectil y su modulo velocidad respectivamente.

Componentes de la velocidad en x , y:

$$V_x = v \cos \theta ; V_y = v \sin \theta$$

$$V_x = \left| \frac{V_x}{v} \right| = \cos \theta ; V_y = \left| \frac{V_y}{v} \right| = \sin \theta$$

donde $|v|$ es:

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (2)$$

Recordar que la aceleración está dada por:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Tendriamos entonces:

$$F = ma ;$$

$$-g + \frac{1}{2} CD * \rho * A * V * |v|^2 = m \frac{dv_x}{dt}$$

$$\frac{dv_x}{dt} = g - \frac{1}{2m} CD * \rho * A * |v|^2 * \left| \frac{V_x}{v} \right|$$

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{CD * \rho * A * |v| * |V_x|}{2 * m} \quad (3)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = \frac{g - CD * \rho * A * |v| * |V_y|}{2 * m} \quad (4)$$

Su *velocidad* sería:

$$\frac{\Delta V_x}{\Delta t} = \frac{CD * \rho * A * |v| * |V_x|}{2 * m}$$

$$\Delta V_x = \frac{CD * \rho * A * |v| * |V_x|}{2 * m} * \Delta t \quad (5)$$

$$\frac{\Delta V_y}{\Delta t} = \frac{g - CD * \rho * A * |v| * |V_y|}{2 * m}$$

$$\Delta V_y = \frac{g - CD * \rho * A * |v| * |V_y|}{2 * m} * \Delta t \quad (6)$$

Y posición:

$$\Delta x = (V_x * \Delta t) + \frac{1}{2} a_x * \Delta t^2 \quad (7)$$

$$\Delta y = (V_y * \Delta t) + \frac{1}{2} a_y * \Delta t^2 \quad (8)$$

Ahora bien, para determinar el punto de impacto del proyectil tendremos en cuenta los procedimientos planteados en el libro *Modern Exterior Ballistics - The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles* 2nd ed. - R. McCoy (McCoy, 1999), que nos permitirán tener una mayor precisión.

Para esto retomamos la ecuación fuerza de arrastre ([Fd](#)):

$$F_{Drag} = \frac{1}{2} CD * \rho * A * |v|^2$$

Recordado su modulo velocidad:

donde $|v|$ es:

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

en este primer caso no se tiene en cuenta la desviación provocada por el viento para lo cual $v_z = 0$.

Tomaremos a X como la variable independiente y dividimos sobre las componentes en x y y :

$$v_x = -\frac{1}{2m} CD\rho A v_x^2 \quad (1)$$

$$v_y = g - \frac{1}{2m} CD\rho A v_x v_y \quad (2)$$

Tendríamos:

$$v_x = -\frac{1}{2m} CD\rho A v_x \quad (4)$$

$$v_y = \frac{g}{v_x} - \frac{1}{2m} CD\rho A v_y \quad (5)$$

La velocidad irá cambiando a medida que recorre más espacio en el aire, de igual forma la fricción ejercida por el aire hará que el proyectil pierda velocidad, para esto una solución analítica y exacta para la [\(Ec.4\)](#) se plantea de la siguiente forma:

$$V_x = v_{x0} \exp\left(-\frac{1}{2m} CD\rho A \int_0^x dx1\right) \quad (6)$$

$X1$, nos sirve como variable de integración.

Para condiciones iniciales de

$$x = 0, \quad t = 0, \quad y \quad v_y = v_0$$

La [\(Ec.5\)](#), se puede resolver de igual forma:

$$V_y = \exp\left(\int_0^x -\frac{1}{2m} CD\rho A dx1\right) \left[v_{y0} - \int_0^x \frac{g}{v_x} \exp\left(\int_0^{x2} \frac{1}{2m} CD\rho A dx1\right) dx2\right] \quad (7)$$

En la [Figura. 1-1](#) , se describe el movimiento parabolico que realiza un proyectil, tomando sus componetes en x y v de velocidad se obtiene su angulo de inclinacion:

$$\frac{v_x}{v_y} = \tan\theta$$

$$\tan\theta = \left[\tan\theta_0 - \frac{1}{v_x} \int_0^x \left(\frac{g}{v_x} \right) \exp \left(\int_0^{x^2} \frac{1}{2m} CD\rho A dx1 \right) dx2 \right] \quad (8)$$

Donde:

$$\tan\theta_0 = \text{angulo inicial.}$$

Podemos hallar t de $v_x = \frac{dx}{dt}$ en [\(Ec.6\)](#) sustituyendo v_x :

$$t = \frac{1}{v_{x0}} \int_0^x \exp \left(\int_0^{x^2} \left(\frac{1}{2m} CD\rho A dx1 \right) dx2 \right) dx2 \quad (9)$$

A través de un conjunto algo tedioso de sustituciones y manipulaciones algebraicas que son contenida en (McCoy, 1999) tenemos:

$$y = y_0 + x \tan\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_{x0}^2} \left[\frac{2}{x^2} \int_0^x \int_0^{x^3} \exp \left(2 \int_0^{x^2} \frac{1}{2m} CD\rho A dx1 \right) dx2 dx3 \right] \quad (10)$$

Siguiendo con los planteamientos nos sigue realizara una sustitución de variable con fin de facilitar los próximos análisis:

$$\frac{1}{2m} CD\rho A = k1 \quad (11)$$

Sustituimos en [\(Ec.6\)](#), [\(Ec.9\)](#):

$$V_x = v_{x0} \exp^{-k1 \int_0^x dx1} = v_{x0} \exp(-k1x) \quad (12)$$

$$t = \frac{1}{v_{x0}} \int_0^x \exp \left(\int_0^{x^2} (k1 dx1) \right) dx2 = \frac{1}{v_{x0}} \int_0^x \exp(k1x2) dx2 \quad (13)$$

O también:

$$t = \frac{1}{v_{x0}k1} (\exp[k1x] - \exp[0]) = \frac{1}{v_{x0}k1} (\exp[k1x] - 1) \quad (14)$$

Para encontrar el ángulo de caída, θ , en función del rango x , y la velocidad instantánea en x , V_x , resolvemos la (Ec.12) para k_1 :

$$k_1 = \frac{1}{x} \ln \left(\frac{V_{x0}}{v_x} \right) \quad (15)$$

Reemplazamos (Ec.15) en (Ec.13) para t , tomando el resultado y recordando que

$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$ para cualquier x , usamos esta nueva ecuación para t , y transformamos la (Ecu.8) en:

$$\tan \theta = \tan \theta_0 - \frac{gt}{v_{x0}} \left[1 + \frac{v_{x0} t}{2x} \ln \left(\frac{v_{x0}}{v_x} \right) \right] \quad (16)$$

Para encontrar la altitud, y , en cualquier punto a lo largo de la trayectoria como una función del rango y la velocidad en ese rango, transformamos la (Ecu.8) con el coeficiente de arrastre constante, k_1 , usamos la nueva ecuación para t que obtuvimos anteriormente:

$$y = y_0 + x \tan \theta_0 - \frac{g}{2} \left[\frac{x}{v_{x0}} \frac{1}{\ln \frac{v_{x0}}{v_x}} \right]^2 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{v_{x0}}{v_x} - 1 \right)^2 + \left(\frac{v_{x0}}{v_x} - 1 \right) - \ln \left(\frac{v_{x0}}{v_x} \right) \right] \quad (17)$$

Simplificando algunos términos tendríamos al final:

$$V_x = V_{x0} \exp - k_1 x \quad (18)$$

$$t = \frac{x}{v_x} \left(\frac{v_{x0}}{v_x} - 1 \right) / \ln \left(\frac{v_{x0}}{v_x} \right) \quad (19)$$

$$\tan \theta = \tan \theta_0 - \frac{gt}{v_{x0}} \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_{x0}}{v_x} \right) \right] \quad (20)$$

$$y = y_0 + x \tan \theta_0 - \frac{1}{2} g t^2 \left[\frac{1}{2} + \left(\frac{v_{x0}}{v_x} - 1 \right)^{-1} - \left(\frac{v_{x0}}{v_x} - 1 \right)^2 - \ln \left(\frac{v_{x0}}{v_x} \right) \right] \quad (21)$$

Finalmente, para obtener la desviación por efecto del viento o deriva tendríamos de la (Ec.1):

$$v_x = - \frac{1}{2m} CD \rho A v_x^2 \quad (22)$$

$$v_z = - \frac{1}{2m} CD \rho A v_x (v_z - w_z) \quad (23)$$

Seguimos el mismo procedimiento que se realizó en v_y :

$$V_x = v_{x0} \exp^{-\frac{1}{2m} CD \rho A \int_0^x dx1} \quad (24)$$

$$V_z = \exp\left(-\int_0^x \frac{1}{2m} CD \rho A dx1\right) \left[\int_0^x w_z \frac{1}{2m} CD \rho A \exp\left(\int_0^x \frac{1}{2m} CD \rho A dx1\right) dx2\right] \quad (25)$$

Asumiendo W_z como constante:

$$V_z = \frac{V_x}{V_{x0}} W_z \left[\exp\left(\int_0^x \frac{1}{2m} CD \rho A dx1\right) - 1 \right] = W_z \left(1 - \frac{V_x}{V_{x0}}\right) \quad (26)$$

Dado que $0 < V_x < V_{x0}$ en todo x , V_z siempre tiene que ser menor que la velocidad del viento W_z . Por tanto, W_z es un límite superior de V_z . Si examinamos la desviación debida a un viento cruzado constante, podemos escribir:

$$Z = \int_0^t V_z dx1 = W_z \left(t - \frac{x}{V_{x0}}\right) \quad (27)$$

1.2 Balística

Es la encargada del estudio de los proyectiles desde su composición física y como las leyes físicas pueden describir su trayectoria de desplazamiento, de igual forma estudia los efectos de impacto, está dividida en 3 partes, (Muñoz-Granados, 2019), (ver [Figura 1-3](#)).

1.2.1 Balística Interior

Estudia los procesos internos dentro del arma mientras es expulsado el proyectil, abarca desde el accionar del arma, la forma como se genera la combustión para la expulsión y finaliza hasta que el proyectil sale por la boca del cañón.

1.2.2 Balística Exterior

Es el estudio de la trayectoria del proyectil mientras se dirige al blanco, tiene en cuenta la posición como fue lanzado el proyectil, sus características aerodinámicas y como las variables del ambiente afectan su trayectoria final.

1.2.3 Balística Terminal

Estudia el final de la trayectoria del proyectil, los daños que puede causar al impactar con el objetivo, tiene en cuenta la composición química de la bala al ingresar al blanco o cuerpo de impacto, el estudio de como ingresa al objetivo da indicios de su trayectoria previa.

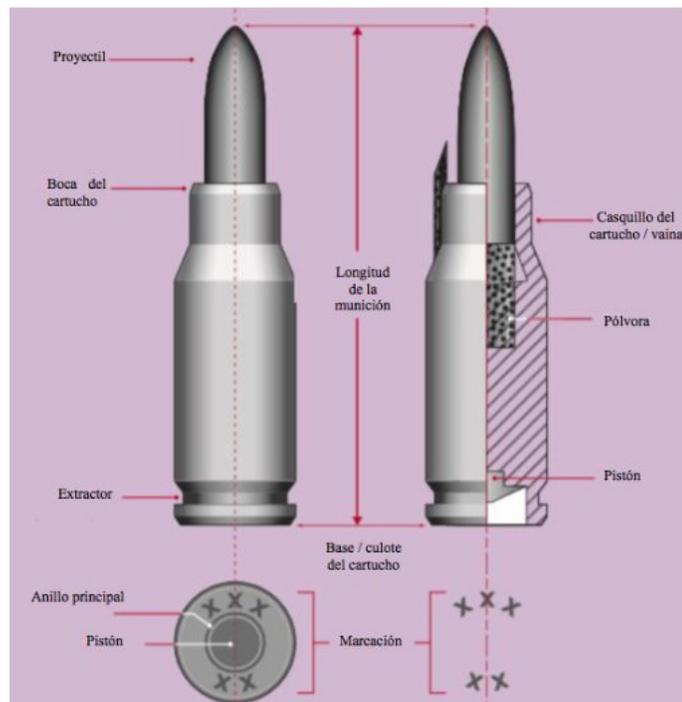
Figura. 1-3: Balista (interior, exterior, terminal) Fuente: Autor.



1.3 Munición

Termino usado para referirse al conjunto de objetos con el cual es cargado los cartuchos para las armas de fuego (juridico, dpej.rae.es, s.f.) (Español, s.f.). como se muestra en la [Figura 1-4](#), se puede observar las diferentes partes que componen una munición.

Figura. 1-4: Anatomía de una munición. Fuente (Delito, s.f.)



Colombia hacer parte de La Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), la cual dentro de sus regulaciones para la cooperación militar han adoptado la munición calibre 5,56mm x 45mm como su munición estándar (municion.org, s.f.), una de sus razones es su fácil transporte y que son menos letales que el calibre anterior 7,62x51mm.

1.3.1 Bala o Proyectil

Como se mencionó en la [Sección. 1.1.1](#), un proyectil es un objeto lanzado a cualquier dirección, en este caso lo llamaremos bala o proyectil. Estos poseen características aerodinámicas que le permiten atravesar el medio casi sin ninguna interrupción.

En la [Figura 1-5](#), se muestra las partes de una munición calibre 5,56mmx45mm.

Figura. 1-5: Partes de una munición calibre 5,56mmx45mm. Fuente. Autor.



Izquierda a derecha: Bala- proyectil, Casquillo, Munición-Cartucho.

1.4 Armas de Fuego

Un arma de fuego es un elemento que mediante un sistema mecánico es capaz de lanzar a gran velocidad un proyectil, mediante la combustión de la pólvora del mismo. (juridico, dpej.rae.es, s.f.).

Dependiendo de su utilidad o propósito existen diferentes tamaños los cuales mencionaremos en el siguiente apartado.

1.4.1 Armas Largas

Se denominan armas largas aquellas que su cañón es más largo que otros, un ejemplo de arma larga se muestra en la [Figura 1-6](#), estas son capaces de expulsar un proyectil con gran potencia y a una distancia muy superior a lo que un arma corta podría, de igual forma por su estructura permiten disparos de gran precisión todo esto combinado con el aerodinamismo del proyectil.

Figura. 1-6: Fusil de asalto Galil Ace 23. Fuente (Indumil.org, s.f.)



1.4.2 Armas Cortas

A diferencia de las armas largas estas se destacan por ser más fáciles de transportar, y empuñar, su calibre es más pequeño y menos letal. No posee culata por lo cual se puede apuntar con una sola mano. Ver [Figura 1-7](#).

Figura. 1-7: Pistola Córdoba estándar. Fuente (indumil.org, s.f.).



1.5 Antecedentes

En la presente sección se mostrarán algunos trabajos en los cual se involucran el estudio de balística y polígonos de tiro.

1.5.1 Trabajos Similares

- **Arma de fuego simulada usando PSoc** (Alexander Falcón Ruiz): **Resumen:** “En este trabajo se describe el diseño de una aplicación para simular el funcionamiento de un arma de fuego.”. En el trabajo se destaca el proceso de retroceso o “culetazo” realizado al disparar un arma de fuego, lo que le da un mayor realismo.
- **Diana Electrónica para mejorar el Rendimiento de los Deportistas del Club de Tiro Ricardo O ‘Dónovan**, (León Romero, 2018): **Resumen:** “mejorar el rendimiento de los Deportistas del Club de Tiro Ricardo O ‘Dónovan con la implementación de una diana electrónica, trabajando con una población de 13 directivos y 3 tiradores top de tiro olímpico”. Empleo de elementos electrónicos y profesional capacitado para las diferentes pruebas, de igual forma muestra los costos producidos por implementar la diana electrónica.
- **Simulador de tiro con rifle** (Francisco, 2015): **Resumen** “consiste en el desarrollo de una herramienta que asista en el entrenamiento para el tiro con rifle”. Permite la simulación de la mira telescópica para rifle de alta precisión lo cual resulta muy pertinente en tiro de largo alcance, su entorno virtual permite gran variedad de escenarios.
- **Simulador de tiro con captura laser** (Villarejo, 2015): **Resumen:** “Presenta el desarrollo de un simulador de tiro, el cual permite entrenar habilidades de puntería y capacidad de reacción...”. Al igual que el trabajo anterior este permite la creación de diferentes ambientes virtuales.

1.6 Estado Del arte

1.6.1 Tecnología en los primeros simuladores

Dentro de los primeros acercamientos con los simuladores de tiro uno de los más famosos y reconocido fue la pistola Zapper de Nintendo, que para su época fue un gran desarrollo en la interacción del usuario con una pantalla.

Figura. 1-8: Pistola Zapper de Nintendo.



El funcionamiento de la pistola de Nintendo fue bastante ingenioso, esta tenía en su punta un fotodiodo que al accionar la pantalla realizaba un cambio de color a negro, y solo se mostraba los objetivos en blanco, si el fotodiodo detectaba el blanco entonces se habría dado al objetivo, esto por supuesto ocurría en cuestión de segundos lo que lo hacía imperceptible para el usuario.

1.6.2 Simuladores de Tiro en la actualidad

Se presentan algunos de los más completos sistemas de entrenamiento virtual que podemos encontrar en el mercado.

- 7) VirTra (VirTra, s.f.): Es una empresa de desarrollo tecnológico en defensa con sede central en Tempe, Arizona, Estados Unidos, que posee un potente y avanzado sistema de entrenamiento policial y militar para crear diferentes escenarios de la vida real y entrenar bajos diferentes situaciones de alto riesgo. Una de sus principales características del sistema es la inmersión visual de la persona pues cuenta 5 pantallas de 300° de vista. En la [Figura 1-9](#) se puede observar el sistema VirTra.

Figura. 1-9: Sala de simulación VirTra (VirTra, 2020).



- 8) Indra (Indra, s.f.): Es una multinacional española que ofrece servicios de tecnología, en defensa. Cuenta con simuladores de armas cortas y largas, vehículos de combate para todo terreno como aviación, naval y terrestres. Dentro de sus características se destaca el uso de gafas de realidad 3D que logran una mejor inmersión en el escenario del usuario. En la [Figura 1-10](#) se puede ver el Simulador Indra en uso.

Figura. 1-10: Simulador de Indra iVictrix (Indra, s.f.).



- 9) Meggitt (Meggitt, s.f.): Es una compañía con sede en reino unido, que se especializa en sistemas aeroespaciales, de defensa y energía. Uno de sus simuladores para servicio militar es el FATS® 100MIL ([Figura 1-11](#)), el cual permite una simulación hasta de 60 armas y adecuación del escenario para 15 personas, con una pantalla panorámica que permite ver una de sus características revolucionarias como el motor de juego avanzado Puntería 3D.

Figura. 1-11: Simulador FAST 100Mil (Meggitt, s.f.).



10) Codaltec (Coldaltec, s.f.): Empresa colombiana creada por el ministerio de defensa y encargada del desarrollo de tecnología para la defensa. Posee diferentes simuladores como el Gecko, simulador de escenarios LYNX, y un simulador de polígono para policía. En la [Figura 1-12](#), se aprecia oficiales de policía en una práctica de polígono del sistema Codaltec.

Figura. 1-12: Simulador de polígono Codaltec (Codaltec).



2. Visión Artificial y Elementos de Interacción

2.1 Procesamiento digital de imágenes

El procesamiento de imágenes es la etapa en la cual se extraen todas las características de una imagen, dicho proceso tiene diferentes fases en las cuales según los parámetros que se han elegido arrojará un resultado que permitirá realizar ciertos cambios o simplemente realizar modificaciones que sean pertinentes para el propósito. En la [Figura 2-1](#), se aprecian los pasos para el procesamiento de imágenes.

Figura. 2-1: Etapas Procesamiento Imágenes (Garcia, 2002).



Captura: Donde se obtiene la imagen que se desea tratar, si es obtenida a través de una cámara se realiza un proceso de conversión análogo digital en la cual la imagen que es obtenida del mundo real adquiere valores digitales para que la computadora pueda leerla y visualizarla.

Pre-Procesamiento: Para un correcto manejo de la imagen se elimina el ruido que pueda traer consigo al momento de ser capturada y un realce de contraste.

Segmentación: Se extrae la información de la imagen obtenida, se divide la imagen en partes iguales y se obtiene una imagen binaria.

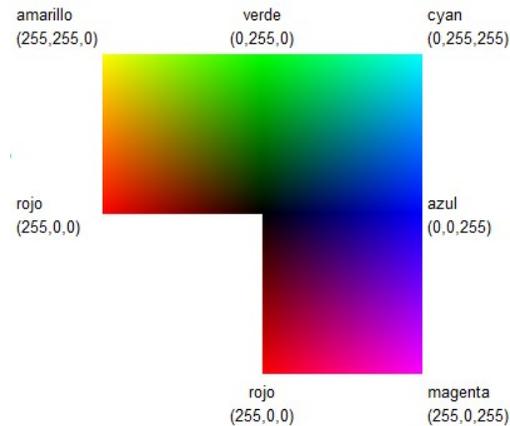
Representación y descripción: la presentación es la clasificación de los objetos encontrados ya sea con un contorno o un área demarcada y su descripción es la información extraída de esa representación hecha, puede ser el valor de algún color en particular, cantidad de pixeles que la componen, su tamaño entre otras más.

Interpretación: La parte final del proceso es el resultado que podremos visualizar de la imagen, allí se verá reflejada toda la información que se ha obtenido bajo los parámetros que se han puesto a la imagen.

2.1.1 Captura del puntero laser

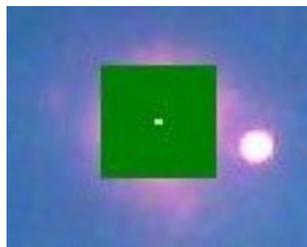
El software para la interacción con el usuario se realizó en C#, en esta primera parte del proceso para la captura o detección del punto laser se hizo uso de la biblioteca de Aforge (Aforge.Net, s.f.), que es una biblioteca de visión artificial creada por Andrew Kirillov en 2016 y escrita en C# lo que facilita su uso en el software, en 2013 fue liberada para uso gratuito bajo las licencias (LGPLv3 (GNU.org, s.f.), GPLv3 (Gnu.org, s.f.)), que permiten el uso libre de sus librerías, para los desarrolladores y aficionados a el procesamiento de imágenes por computadora entre otras aplicaciones.

Los diferentes colores que conocemos están compuestos por 3 colores primarios (Rojo, verde, Azul) o por sus siglas en inglés (RGB), para poder obtener un color es necesario realizar una combinación de alguno de estos para ello cada uno toma un valor específico (sites.google, s.f.), Ver [Figura 2-2](#).

Figura. 2-2: Valores RGB para diferentes colores (sites.google, s.f.).

Retomando la biblioteca de Aforge se realizó el filtro necesario para la detección del puntero laser, en el cual se asignan los valores RGB para el color que se desea, en este caso y para el proyecto este filtro se ha dejado casi nulo, es decir se permite el reconocimiento de todos los colores. Siguiendo con el esquema de la [Figura.2-1](#), se realiza un preprocesamiento de la imagen para lo cual se hace un filtrado en escala de grises que nos permitirán procesar la imagen.

Una vez tenemos la imagen filtrada en escala de grises, cualquier cambio de luz en la imagen podrá ser detectada, este cambio en la imagen se describe como una mancha o Blob (AforgeNet, s.f.) (mancha en inglés) es decir que la imagen ha tenido una modificación por parte externa, y para resaltarla lo que se hizo fue generar una marca alrededor de dicho blob (AForge, s.f.). Luego de detectar el blob del láser, se guardará esta imagen en una ruta asignada.

Figura. 2-3: Marca del blob. Fuente Autor

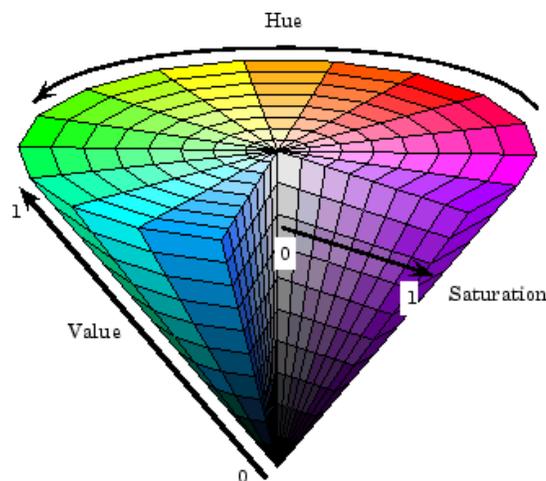
2.1.2 Tratamiento Imágenes - Detección punto laser

En esta etapa se realiza el procesamiento de las imágenes obtenidas, aquí se hace uso de OpenCV (OpenCv, s.f.). OpenCV es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel, la cual posee gran cantidad de algoritmos para el procesado de imágenes y de igual forma permiten que sean compartidos por los desarrolladores.

Para la detección de cada punto laser se buscará la marca creada por el blob en la sección 3.1.2 y la marca sería [Figura.2-3](#), esta marca creada será la que se buscará en cada imagen que agregaremos en cada tiro. Una vez detectada recordando las etapas de procesamiento [Figura.2-1](#), seguiremos los siguientes pasos:

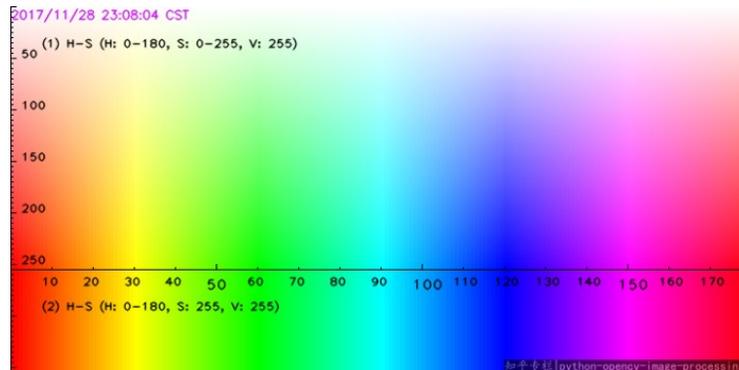
- 1) **RGB – HSV:** Se realiza una conversión de color en la cual se modifican valores de su matriz, saturación y brillo como se aprecia en la [Figura 2-4](#), eso nos permitirá manejar de manera más eficiencia los colores, en el caso la detección de algún color en específico.

Figura. 2-4: HSV. Fuente. (MathWorks, 2020).



- 2) **Filtro Color:** Se crea un filtro del color de la marca, la cual es de rojo, recordando la composición de los colores (ver [Figura 2-5](#)), tendremos que el color rojo tendría este valor:

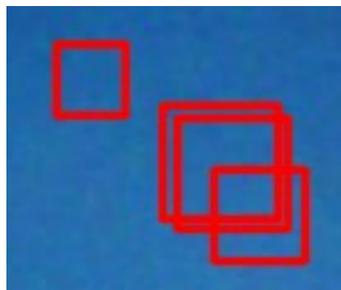
Figura. 2-5: Variación Colores (Medium, s.f.).



Para lo cual tendría un umbral en bajo de *Scalar* (170, 100, 100), y uno en alto de *Scalar* (179, 255, 255).

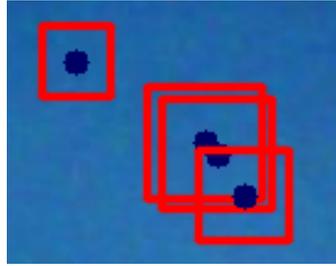
- 3) **Encontrar lo contornos de la región de interés y dibujarlos:** Como la marca tiene una forma particular y fácil de detectar se hace uso de los argumentos *CV_RETR_EXTERNAL*, *CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE* (OpenCV, s.f.) (OpenCV, s.f.), los cuales nos darán los siguientes resultados, ver [Figura 2-6](#).

Figura. 2-6: Contornos de las marcas encontradas. Fuente Autor.



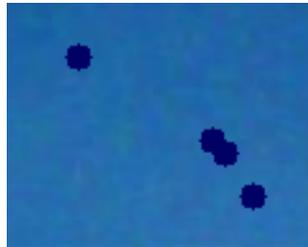
- 4) **Obtener las coordenadas de alto y ancho del contorno:** Luego de tener los contornos dibujamos una línea sobre cada contorno, así podremos obtener su área total y de esta forma su punto central como se ilustra en la [Figura 2-7](#).

Figura. 2-7: Centro de los contornos. Fuente Autor.



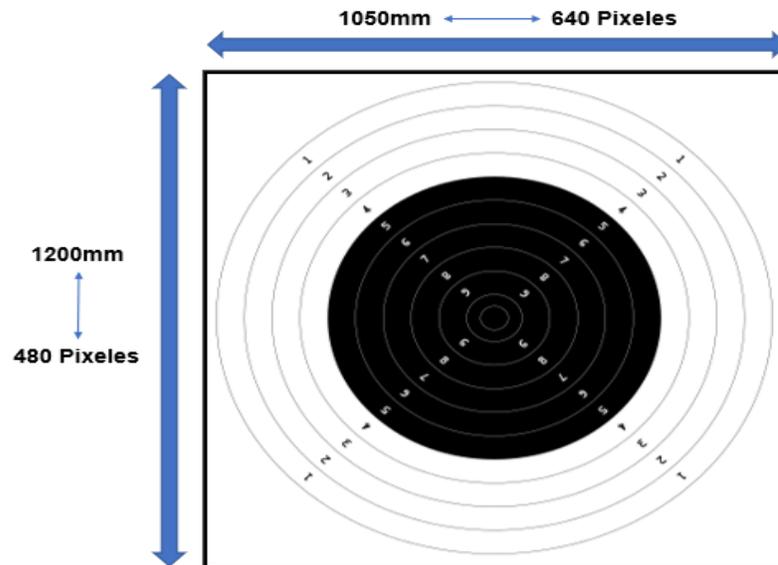
- 5) **Dibujar el punto central en una nueva imagen:** Luego de tener el punto central lo dibujaremos en la imagen final la cual contendrá todos los demás puntos de las marcas. Esto se guardará como una nueva imagen y luego será la que se mostrará al usuario. Ver [Figura 2-8](#), solo se muestra los puntos centrales de las marcas.

Figura. 2-8: Puntos centrales de los contornos. Fuente. Autor



2.1.3 Medidas imagen digital a medidas reales

Aunque tengamos el blanco físicamente no dispararemos en realidad, es por esto que los impactos de bala se harán digitalmente, aun así, se deberá mantener las medidas reales para dar una mejor precisión a la lectura de los resultados obtenidos. Se optó por un tamaño de blanco de 1200mm alto x 1050mm ancho por cuestiones de facilidad al momento de manejar los píxeles en centímetros ya que la imagen tiene una resolución de 640 píxeles de ancho por 480 píxeles de alto, para los cual tendríamos entonces, ver [Figura 2-9](#):

Figura. 2-9: Tamaño Blanco y Tamaño Imagen. Fuente Autor.

Ahora bien, para poder tener una relación de los píxeles con el tamaño de la imagen se optó por una relación de tamaño sencilla:

Alto:

$$1200 \text{ mm} = 480 \text{ píxeles}$$

$$10 \text{ mm} = x \text{ Píxeles}$$

$$\frac{10 * 480}{1200} = 4 \text{ píxeles} = 4$$

Ancho:

$$1050 \text{ mm} = 640 \text{ píxeles}$$

$$10 \text{ mm} = x \text{ Píxeles}$$

$$\frac{10 * 640}{1050} = 6,09 \text{ píxeles} = 6$$

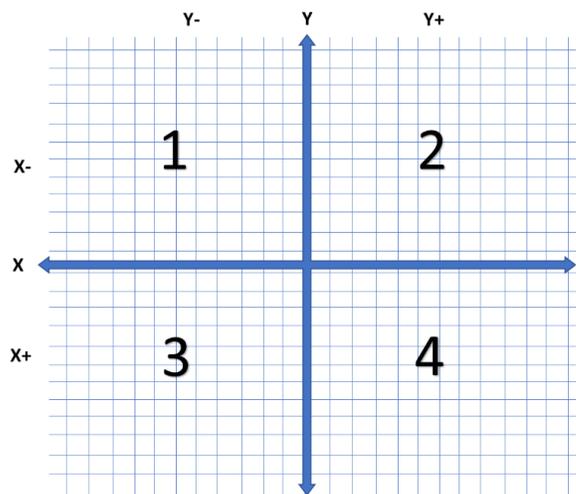
De esta forma podremos movernos a través del blanco según la necesidad que en la siguiente sección explicaremos.

2.1.4 Movimiento pixeles - cm en la imagen

Como se mencionó en la [Sección 1.1.4](#), el proyectil tendrá una desviación en el eje x, y, para lo cual los puntos de impacto realizados con el láser deberán tener un cambio según las características que se han introducido en el software.

Ya tenemos las medidas reales en imagen digital lo que debemos saber es en qué dirección deberemos mover el punto laser, para ellos usaremos como referencia la distribución de los pixeles en una imagen, tal como se aprecia en la [Figura 2-10](#).

Figura. 2-10: Distribución Pixeles. Fuente Autor.



La imagen esta dividida en 4 secciones, donde según sea si aumentamos o disminuimos en x ó y los pixeles podremos mover un pixel en específico, esto es igual a como se puede mover el proyectil en altura o deriva.

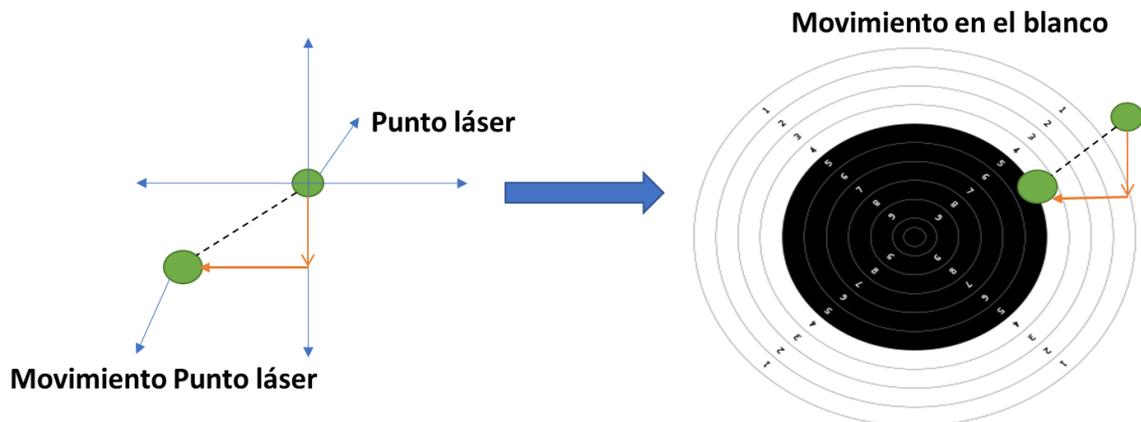
En la [Tabla 2-1](#), se muestra como seria el movimiento del proyectil y del pixel.

Tabla. 2-1: Movimiento proyectil y Pixel.

<i>Altura / Pixel</i>	<i>Deriva / Pixel</i>	<i>Sector</i>
Caída = Sumar en X	A Izquierda= Resta en Y	3
Caída = Sumar en X	A Derecha= Suma en Y	4
Subida = Restar en X	A Derecha= Sumar en Y	2
Subida= Restar en X	A Izquierda= Restar en Y	1

De esta forma nos podremos mover a través del blanco y posicionar el disparo en el lugar el cual se ha calculado su trayectoria, el punto laser siempre será siempre el eje central para moverlo y poder ubicarlo en cualquiera de los 4 sectores, en la [Figura 2-11](#), se aprecian los movimientos.

Figura. 2-11: Movimiento Pixel – Centímetro.



2.2 Diseño y creación del arma a usar

Para la creación se utilizó dos partes de armas didácticas, ambas en material plástico, que permitieron su acceso interno para su posterior modificación.

Recordando el del fusil ([Galil Ace 23](#)), el cual se usó como referencia para la realización del proyecto, se buscó recrear dicha arma ya que es fabricado y distribuido por Indumil que es la mayor industria militar en Colombia y ofrece sus servicios a otros cuerpos militares a nivel internacional, dando como resultado lo que se aprecia en la [Figura 2-12](#).

Figura. 2-12: Arma didáctica recreada. Fuente Autor.



Como se puede ver en la [Figura 2-12](#) su apariencia y acabado es muy similar al fusil Galil Ace 23, lo cual en la práctica resultará ser muy pertinente para que la persona quien maneje este tipo de arma se acople mejor a su tamaño y peso.

Para el acoplamiento del láser, se usó la parte delantera del fusil (ver [Figura 2-13](#)), pues al ser hueco permitía un mejor acoplamiento del láser

Figura. 2-13: Laser en el cañón del arma. Fuente. Autor.



Para la parte de accionar el arma y activar el láser en la [Figura 2-14](#) se aprecia la adecuación de un botón en la parte trasera del gatillo del arma.

Figura. 2-14: Botón para accionar el arma. Fuente. Autor.



2.3 Blanco de tiro

Para la creación del blanco se tuvo en cuenta las reglas generales de la Federación Internacional de tiro Deportivo (ISSF) (International shooting Sport Federation, s.f.), pues a pesar de ser una práctica deportiva tiene un enfoque de precisión.

La ISSF maneja blancos tanto para pistola como rifle, y permiten simular distancias que van desde los 25 metros hasta los 300, lo cual resulta muy pertinente.

Para el blanco de 300, en la [Tabla 2-2](#) se tienen las siguientes medidas

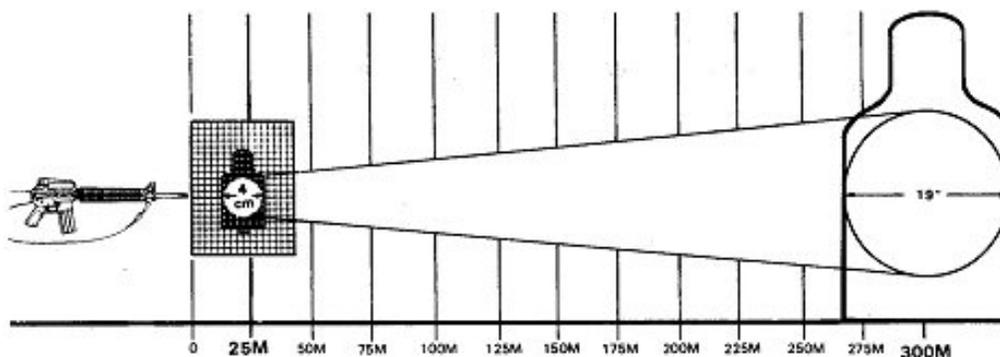
Tabla. 2-2: Blancos para 300 m. Fuente (International shooting Sport Federation, s.f.).

10 ring	100 mm	5 ring	600 mm
9 ring	200 mm	4 ring	700 mm
8 ring	300 mm	3 ring	800 mm
7 ring	400 mm	2 ring	900 mm
6 ring	500 mm	1 ring	1000 mm

Con un tamaño máximo del papel o cartón visible de 1300mm x 1300mm y mínimo de 1200mmx1200mm, para el proyecto se usaron medidas de 1200mm alto x 1050mm ancho que están dentro de lo reglamentado.

La percepción de vista de un blanco a 300 m de distancia es equivalente a 4 cm a una distancia de 25m, esto es explicado en el capítulo 5 del manual de campo para puntería con rifle (Field manual rifle Marksmanship) (FM 3-22.9 RIFLE MARKSMANSHIP, 2008), y puede ser apreciado en la [Figura 2-15](#).

Figura. 2-15: Tamaño de un blanco a 300 en 25metros. Fuente (FM 3-22.9 RIFLE MARKSMANSHIP, 2008).



La Dirección de Profesionales Oficiales de Reserva de las Fuerzas Militares (Dipor) en su manual de armamento de armas largas (Ejercito Nacional de Colombia, s.f.), nos sugiere que el fusil Galil para distancias de 300m a 400 m tenga una puesta a cero de 25m de distancia.

2.4 Camara Web

Para la toma de fotografías se usó una cámara web (Ver [Figura 2-16](#)), con una resolución de 480x640 pixeles, por su fácil adquisición y resolución, se adaptó de manera eficiente a lo programado en el software, de igual forma el material en el cual está hecha la hace más practica para tenerla al aire libre.

Figura. 2-16: Cámara Web. Fuente Autor.



2.5 Sistema de polígono al aire libre

A diferencia de los sistemas de polígono actuales, los cuales en su mayoría se realizan en lugares cerrados y con ambientes controlados, el sistema solución que se planteó está al aire libre como se aprecia en la [Figura 2-17](#), para lo cual el usuario tendrá que acostumbrarse al ambiente que este en el momento de la práctica, esto es determinante en la ejecución de un buen disparo.

Figura. 2-17: Sistema Polígono al aire libre. Fuente. Autor.

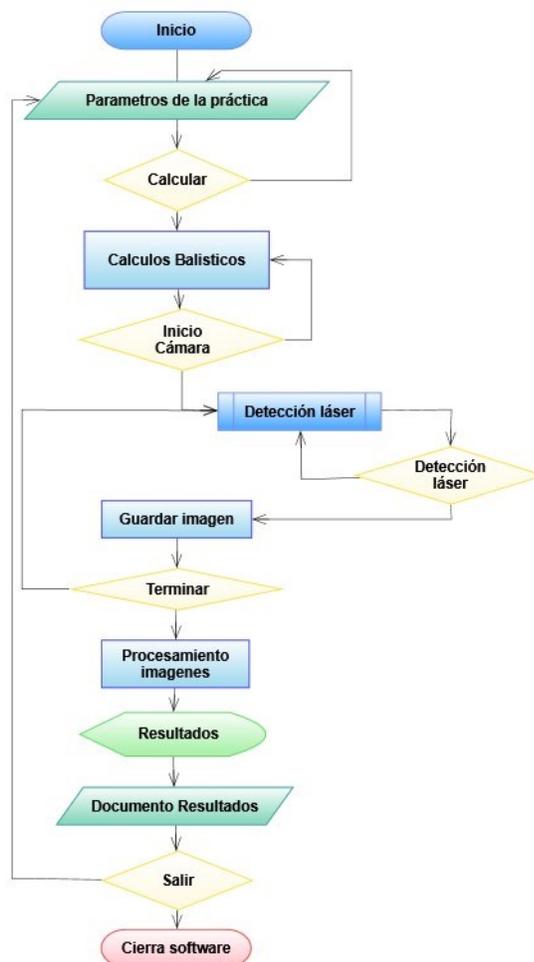


3.Implementación Física y de Software

3.1 Panel principal del programa

En la [Figura 3-1](#), se aprecia el diagrama de flujo que sigue nuestro software.

Figura. 3-1: Diagrama de flujo Software. Fuente Autor.

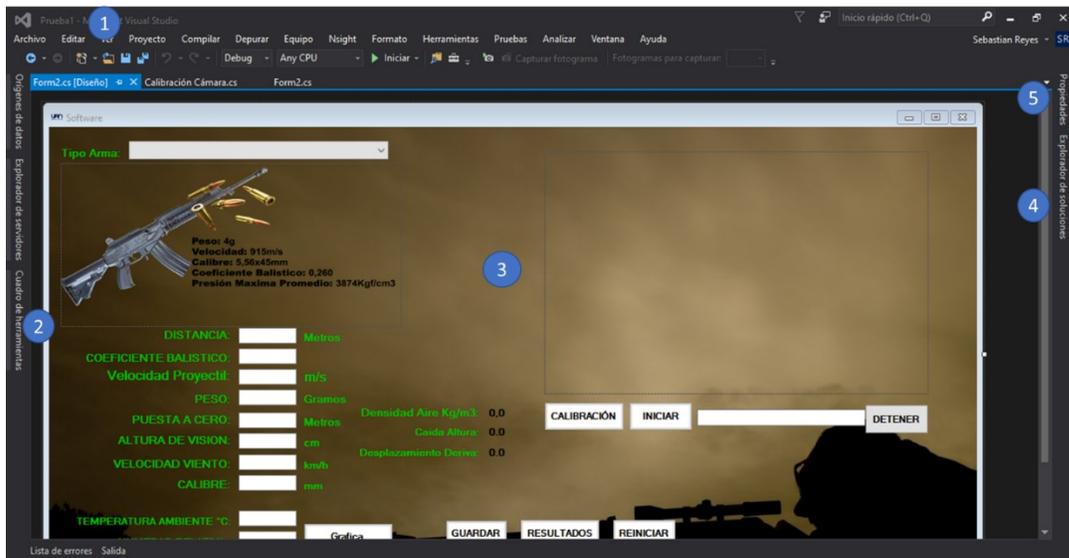


Para la creación del panel principal se usó Windows forms, que es la interfaz de programación para aplicaciones gráficas, como el usuario deberá interactuar con ella, la

fluidez y presentación del software es importante para no cometer errores al momento de introducir los parámetros.

En la [Figura 3-2](#), se muestran los elementos básicos para la creación de una aplicación con Windows forms.

Figura. 3-2: Principales partes de la interfaz gráfica de Windows forms. Fuente Autor.



1. **Menú:** Permite acceder a las diferentes opciones del programa, compilar, agregar referencias, conectar al servidor, etc.
2. **Herramientas:** nos dará los elementos gráficos que podremos agregar a nuestra aplicación, tales como botones, texto, cuadrados para rellenar, marcar casillas entre otros más.
3. **Área Trabajo:** Se posicionan los elementos de interacción cuando la aplicación sea ejecutada.
4. **Explorador de Soluciones:** Nos muestra los archivos y carpetas que contiene la aplicación.
5. **Propiedades:** Son las características de cada elemento que se tiene agregado a la interfaz gráfica, nos permite modificar, tamaño, color, letra, fondo, entre otras más.

3.1.1 Programación de las ecuaciones balísticas

En la [Sección.1.1.4](#), del proyecto se realizó el análisis de movimiento del proyectil, luego de esto se han tomado las ecuaciones necesarias para determinar el punto final de impacto.

Como en la [Figura. 3-1](#), al inicio del programa ingresamos los parámetros necesarios para realizar los cálculos de las ecuaciones, para esto se realiza las conversiones de los datos del sistema internacional al sistema ingles pues como se vio en la [Sección.1.1.4](#), se realizan los análisis de movimiento del proyectil bajo el sistema inglés.

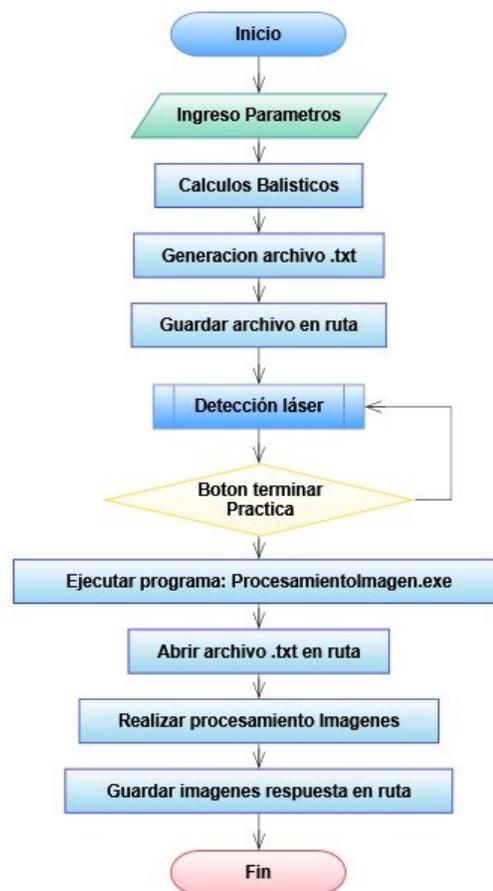
Figura. 3-3: Diagrama de Flujo Cálculos Trayectoria final. Fuente Autor.



3.1.2 Integración de openCv y C#

Para el procesamiento de las imágenes se usó OpenCV y el programa fue desarrollado en C++, para lo cual el programa principal con las ecuaciones balísticas debería enviarle los resultados de los cálculos realizados en el software, para esto se crea un archivo .txt y se guarda en una ruta determinada, el programa en C++ lee el archivo con los datos necesario para poder procesar las imágenes y sus respectivos puntos láser.

Figura. 3-4: Diagrama de flujo interacción C# y C++. Fuente Autor.



3.2 Pruebas Iniciales

En esta parte del proyecto se muestra una práctica de polígono con el sistema en marcha, para lo cual se posicionan dentro del campo los elementos de interacción entre el usuario y el sistema. en la [Figura 3-5](#) se muestra el montaje de los elementos, posicionando el techo protector para el blanco, la cámara web, y el computador.

Figura. 3-5: Montaje sistema polígono al aire libre. Fuente. Autor.



- **Verificación de la cámara:** Se realiza la verificación para que la cámara web no interfiera en la vista del tirador al blanco.

Figura. 3-6: Vista del blanco más de 3 metros. Fuente Autor.



- **Indicar Posición usuario:** En la [Figura 3-7](#) se aprecia el lugar para que la persona realice la práctica, este se encuentra a 25 metros de distancia del blanco.

Figura. 3-7: Ubicación del usuario. Fuente. Autor.



Se realizan las primeras pruebas en las cuales se verifica que el sistema este trabajando sin problema como se muestra en la [Figura 3-8](#).

Figura. 3-8: Software en funcionamiento. Fuente. Autor



Para el correcto manejo del programa en el [Anexo A](#), se presenta un breve tutorial de cómo usar el software y sus características.

3.2.1 Resultados Obtenidos

Para probar el sistema en marcha y su rendimiento se escogieron tres (3) sujetos de prueba, cada uno de ellos realizo 4 pruebas bajo diferentes parámetros, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Practica nivel bajo: En la primera practica se ingresaron parámetros de distancia, y ambiente que no afectara mucho en la trayectoria del proyectil, en la [Tabla 3-1](#) se muestran dichos parámetros:

Tabla. 3-1: Parámetros establecidos para práctica nivel bajo. Fuente Autor.

DISTANCIA	100 m	CALIBRE	5,56 mm
COEFICIENTE BALISTICO	0,260	TEMPERATURA °C	15°
VELOCIDAD PROYECTIL	915 m/s	HUMEDAD RELATIVA	50 %
PESO	4 g	PRESIÓN BAROMETRICA	1013
PUESTA CERO	25 m	DENSIDAD AIRE (Kg/m3)	1,221
ALTURA VISION	2 cm	CAIDA ALTURA	1 cm
VELOCIDAD VIENTO	5 km/h	DESPLAZAMIENTO DERIVA	1 cm

En la [Tabla 3-2](#) se aprecian los resultados obtenidos por cada participante en su primera práctica.

Tabla. 3-2: Resultados obtenidos primera práctica. Fuente Autor.

Practicante	Efectivos	Imprecisos	Precisión
Practicante A	5	11	31%
Practicante B	2	14	12%
Practicante C	6	12	33%

Practica nivel medio: En esta prueba se incrementó algunos parámetros del ambiente para los cuales se deberán realizar correcciones, en la [Tabla 3-3](#) se muestran los cambios:

Tabla. 3-3: Parámetros establecidos para práctica nivel medio. Fuente Autor.

DISTANCIA	200 m	CALIBRE	5,56 mm
COEFICIENTE BALISTICO	0,260	TEMPERATURA °C	15°
VELOCIDAD PROYECTIL	915 m/s	HUMEDAD RELATIVA	50 %
PESO	4 g	PRESIÓN BAROMETRICA	1013
PUESTA CERO	25 m	DENSIDAD AIRE (Kg/m3)	1,221
ALTURA VISION	2 cm	CAIDA ALTURA	-10 cm
VELOCIDAD VIENTO	5 km/h	DESPLAZAMIENTO DERIVA	3 cm

En la [Tabla 3-4](#), se muestran los resultados obtenidos en la segunda práctica realizada a los practicantes.

Tabla. 3-4: Resultados obtenidos segunda práctica. Fuente Autor.

Practicante	Efectivos	Imprecisos	Precisión
Practicante A	5	11	31%
Practicante B	9	8	52%
Practicante C	12	7	62%

Practica nivel Alto I: Se ingresaron parámetros balísticos en los cuales el tirador debía conocer las afectaciones del ambiente a sus tiros, en la [Tabla 3-5](#) se pueden observar los parámetros establecidos para esta práctica.

Tabla. 3-5: Parámetros establecidos para práctica de nivel alto I. Fuente Autor.

DISTANCIA	300 m	CALIBRE	5,56 mm
COEFICIENTE BALISTICO	0,260	TEMPERATURA °C	23°
VELOCIDAD PROYECTIL	915 m/s	HUMEDAD RELATIVA	50 %
PESO	4 g	PRESIÓN BAROMETRICA	1013
PUESTA CERO	25 m	DENSIDAD AIRE (Kg/m3)	1,185
ALTURA VISION	2 cm	CAIDA ALTURA	-38 cm
VELOCIDAD VIENTO	10 km/h	DESPLAZAMIENTO DERIVA	14 cm

En la [Tabla 3-6](#) se pueden ver los resultados obtenidos en la tercera práctica realizada.

Tabla. 3-6: Resultados obtenidos tercera prueba. Fuente Autor.

Practicante	Efectivos	Imprecisos	Precisión
Practicante A	2	8	20%
Practicante B	4	6	40%
Practicante C	6	4	60%

Prueba Nivel Alto II: Se cambian algunos parámetros del ambiente para lo cual se obtiene un cambio brusco en la trayectoria que tendría el proyectil, en la [Tabla 3-7](#) se pueden apreciar los nuevos cambios.

Tabla. 3-7: Parámetros establecidos para práctica nivel alto II. Fuente Autor.

DISTANCIA	300 m	CALIBRE	5,56 mm
COEFICIENTE BALISTICO	0,260	TEMPERATURA °C	25°

VELOCIDAD PROYECTIL	915 m/s	HUMEDAD RELATIVA	50 %
PESO	4 g	PRESIÓN BAROMETRICA	1013
PUESTA CERO	25 m	DENSIDAD AIRE (Kg/m3)	1,177
ALTURA VISION	2 cm	CAIDA ALTURA	-38 cm
VELOCIDAD VIENTO	-7 km/h	DESPLAZAMIENTO DERIVA	-10 cm

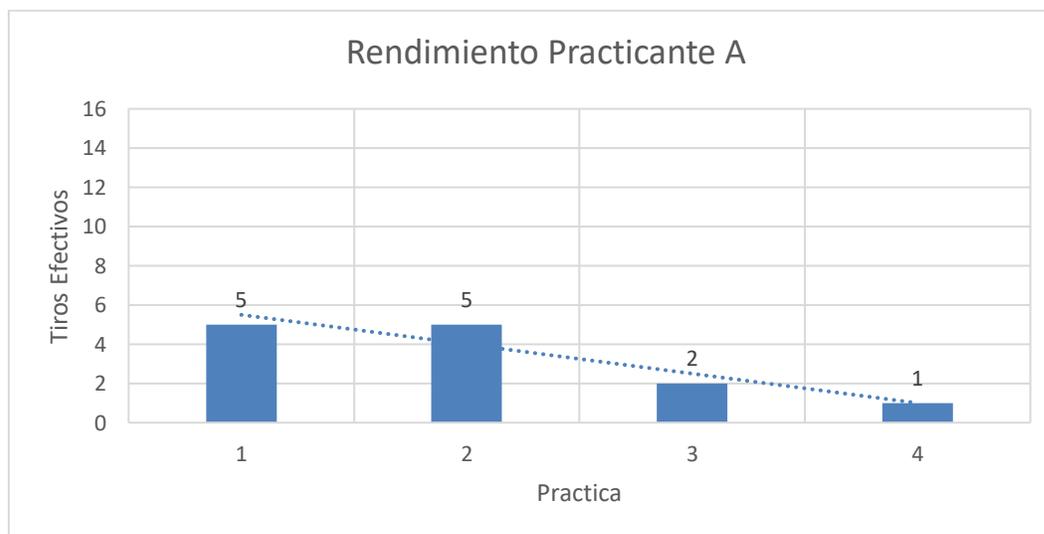
Como se puede apreciar en la cuarta práctica, la desviación por efecto del viento tiene un resultado negativo el cual en las pasadas practicas nunca se introdujo, en la [Tabla 3-8](#) se aprecian los resultados obtenidos por los practicantes.

Tabla. 3-8: Resultados obtenidos cuarta prueba. Fuente Autor.

Practicante	Efectivos	Imprecisos	Precisión
Practicante A	1	9	10%
Practicante B	0	10	0%
Practicante C	1	9	10%

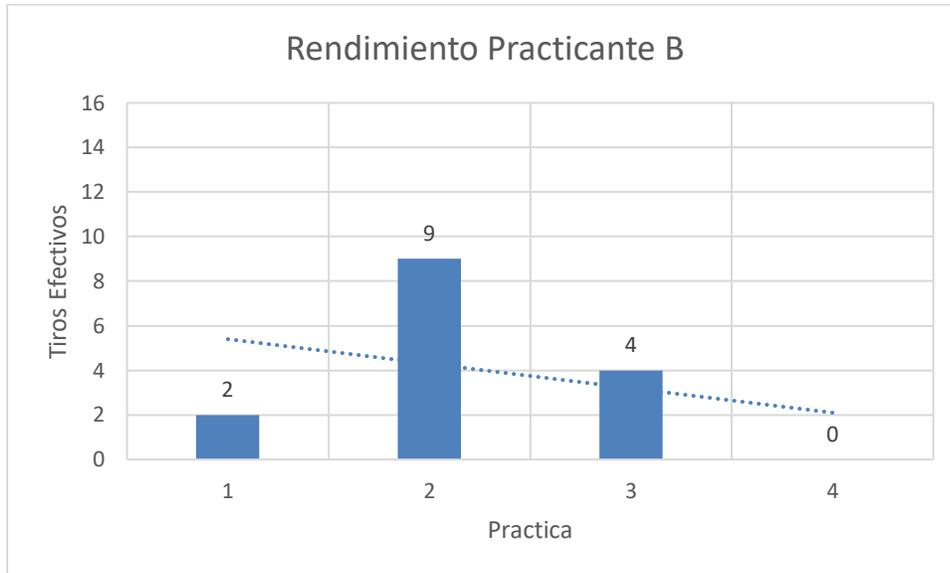
A continuación, se muestran los resultados de cada practicante al largo de cada práctica, en la [Figura 3-9](#) se muestra el rendimiento del practicante A.

Figura. 3-9: Rendimiento Practicante A. Fuente Autor.



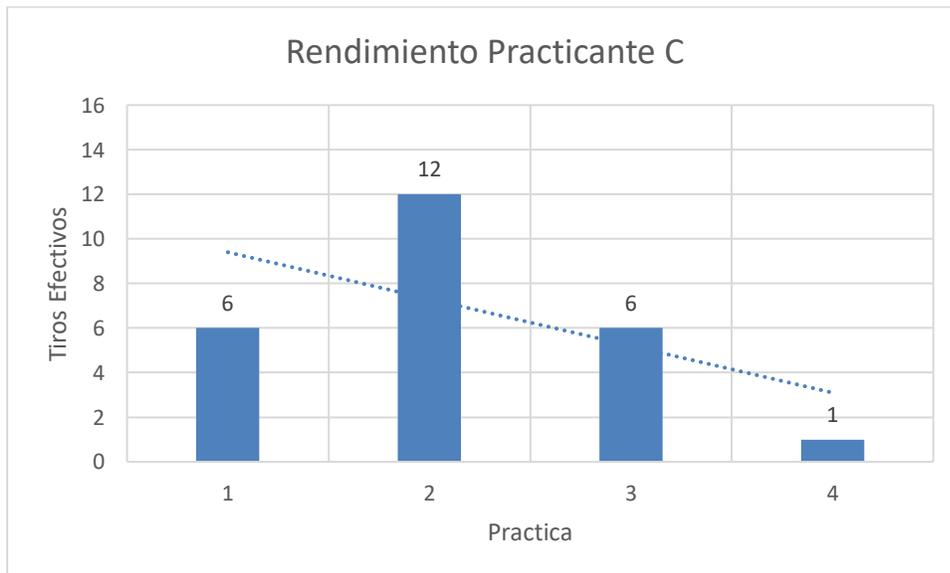
Para el segundo practicante se aprecia en la [Figura 3-10](#) su rendimiento.

Figura. 3-10: Rendimiento Practicante B. Fuente Autor.



Por último, tenemos el rendimiento del practicante C, ver [Figura 3-11](#).

Figura. 3-11: Rendimiento Practicante c. Fuente Autor.



En los [Anexos B](#), [Anexo C](#) y [Anexo D](#), se pueden apreciar los resultados de los blancos de cada uno de los practicantes a lo largo de todas sus pruebas.

En esta etapa de pruebas se ha podido comprobar el funcionamiento del sistema sin ningún problema, si bien la tendencia en cada practicante es a la baja, se realizaron de nuevo las pruebas de nivel 1 y 5, pero en esta ocasión se tomó un solo sujeto de prueba, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

En la [Tabla 3-9](#) se muestran los datos para la primera práctica.

Tabla. 3-9: Parámetros practica nivel bajo. Fuente Autor.

DISTANCIA	100 m	CALIBRE	5,56 mm
COEFICIENTE BALISTICO	0,260	TEMPERATURA °C	15°
VELOCIDAD PROYECTIL	915 m/s	HUMEDAD RELATIVA	50 %
PESO	4 g	PRESIÓN BAROMETRICA	1013
PUESTA CERO	25 m	DENSIDAD AIRE (Kg/m3)	1,221
ALTURA VISION	2 cm	CAIDA ALTURA	1 cm
VELOCIDAD VIENTO	5 km/h	DESPLAZAMIENTO DERIVA	1 cm

Resultados: En la [Tabla 3-10](#) se muestran los resultados obtenidos en 5 practicas realizadas por el practicante.

Tabla. 3-10: Resultados prueba de nivel bajo. Fuente Autor.

Practica	Efectivos	Imprecisos	Precisión
1	5	11	31%
2	9	7	56%
3	13	3	81%
4	10	6	62%
5	14	2	85%

En la [Tabla 3-12](#), se muestran los parámetros para la práctica de nivel alto-II.

Tabla. 3-11: Parámetros prueba de nivel alto-II, Fuente Autor.

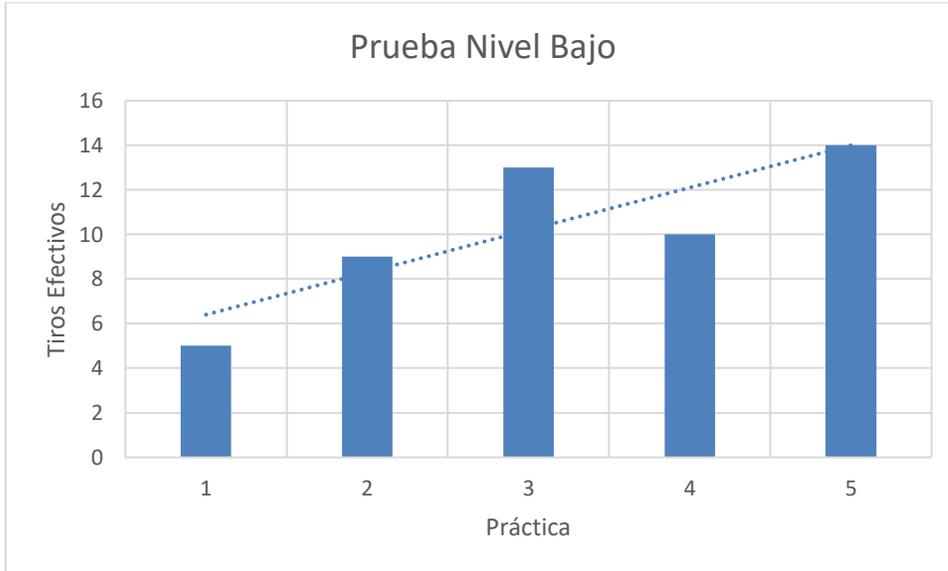
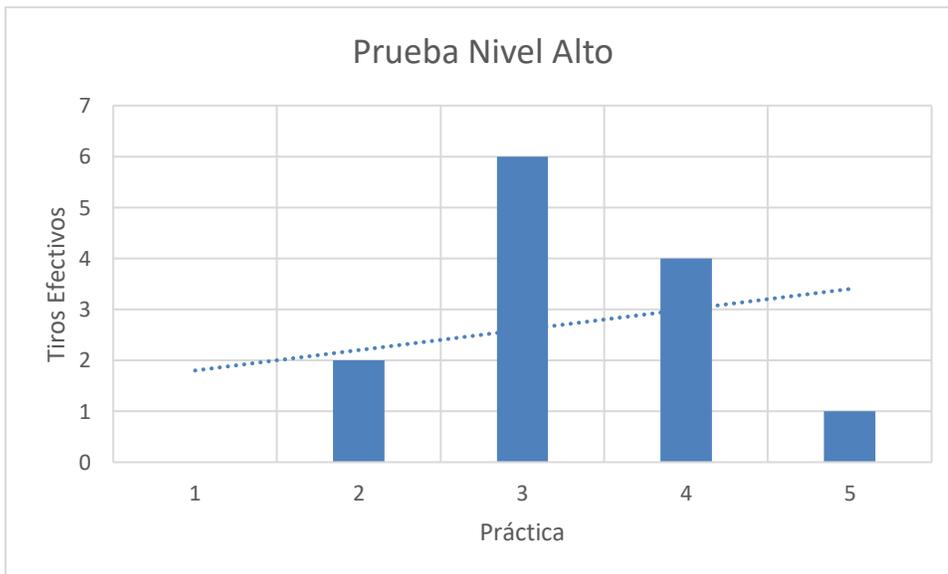
DISTANCIA	300 m	CALIBRE	5,56 mm
COEFICIENTE BALISTICO	0,260	TEMPERATURA °C	25°
VELOCIDAD PROYECTIL	915 m/s	HUMEDAD RELATIVA	50 %
PESO	4 g	PRESIÓN BAROMETRICA	1013
PUESTA CERO	25 m	DENSIDAD AIRE (Kg/m3)	1,177
ALTURA VISION	2 cm	CAIDA ALTURA	-38 cm
VELOCIDAD VIENTO	-7 km/h	DESPLAZAMIENTO DERIVA	-10 cm

Resultados: En la [Tabla 3-13](#), se muestran los resultados obtenidos en 5 practicas realizadas por el practicante.

Tabla. 3-12: Resultados Prueba de nivel alto II. Fuente Autor.

Practica	Efectivos	Imprecisos	Precisión
1	0	10	0%
2	2	8	20%
3	6	4	60%
4	4	6	40%
5	1	9	10%

Rendimiento: En la [Figura 3-12](#) y [Figura 3-13](#) se puede observar el rendimiento durante las 2 prácticas de diferente nivel y su rendimiento en cada una de ellas.

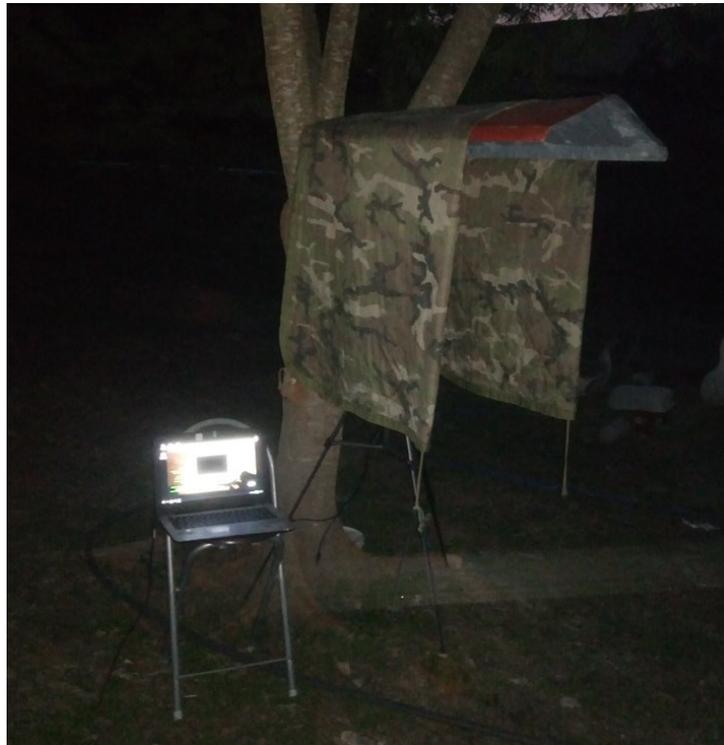
Figura. 3-12: Rendimiento practicante en nivel bajo. Fuente Autor.**Figura. 3-13:** Rendimiento practicante en nivel alto. Fuente Autor.

Como se puede apreciar en las gráficas anteriores, para estos casos, con los parámetros asignados, el ambiente del lugar y el sujeto de prueba, al realizar continuamente varias practicas con iguales parámetros su tendencia de mejoría es levemente alta, lo cual permite confirmar que una práctica constante tiene repercusiones positivas en el practicante.

Se realizaron pruebas nocturnas del sistema para ver su comportamiento, ya que con poca iluminación para que la cámara web pueda detectar efectivamente el láser, se es necesario ayuda extra para la iluminación del blanco.

En la [Figura 3-14](#), se aprecia el sistema de práctica armado para pruebas nocturnas.

Figura. 3-14: Sistema de practica para prueba nocturna. Fuente Autor.



En la [Figura 3-15](#), podemos observar la iluminación por parte de la cámara web para que nuestro practicante pueda observar el blanco, por otro lado, si se observa en la [Figura 3-16](#), se aprecia que el sistema detecta esta luz de la cámara web y la marca.

Figura. 3-15: Iluminación del blanco desde cámara web. Fuente Autor.



Figura. 3-16: Detección de la luz incidente de la cámara web. Fuente Autor.



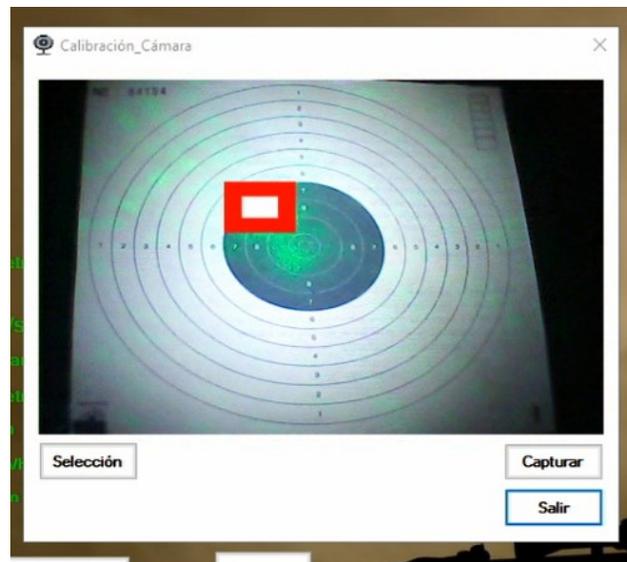
En la [Figura 3-17](#), se observa al practicante realizando disparos al blanco para comprobar la detección aun en la oscuridad.

Figura. 3-17: Practicante apuntando al blanco. Fuente Autor.



Por último, en la [Figura 3-18](#), se aprecia la detección del punto laser por parte de sistema, solo con la luz de la cámara web.

Figura. 3-18: Detección punto laser nocturno. Fuente Autor.



El sistema no es apto para practicas nocturnas, salvo que se tuviera una iluminación extra para el blanco ó el practicante posea los elementos que le permitieran observar el blanco sin necesidad de tener una iluminación sobre él.

4. Conclusiones

Durante las investigaciones del proyecto, búsqueda de recursos para la ejecución, su posterior puesta en marcha y practica de pruebas se concluye:

- Se creó la infraestructura tecnológica necesaria para determinar el punto de impacto en el blanco.
- Se conoció las implicaciones de cada variable expuesta en plantear las ecuaciones necesarias para determinar las trayectorias balísticas.
- Se diseñó, creo y se puso en funcionamiento del software adecuado para implementar las ecuaciones balísticas necesarias.
- Se logró recrear un entorno físico para el sistema de practica de polígono.
- Se permitió la generación de un archivo con los resultados obtenidos por el usuario para tener un historial de las prácticas y conocer su rendimiento.

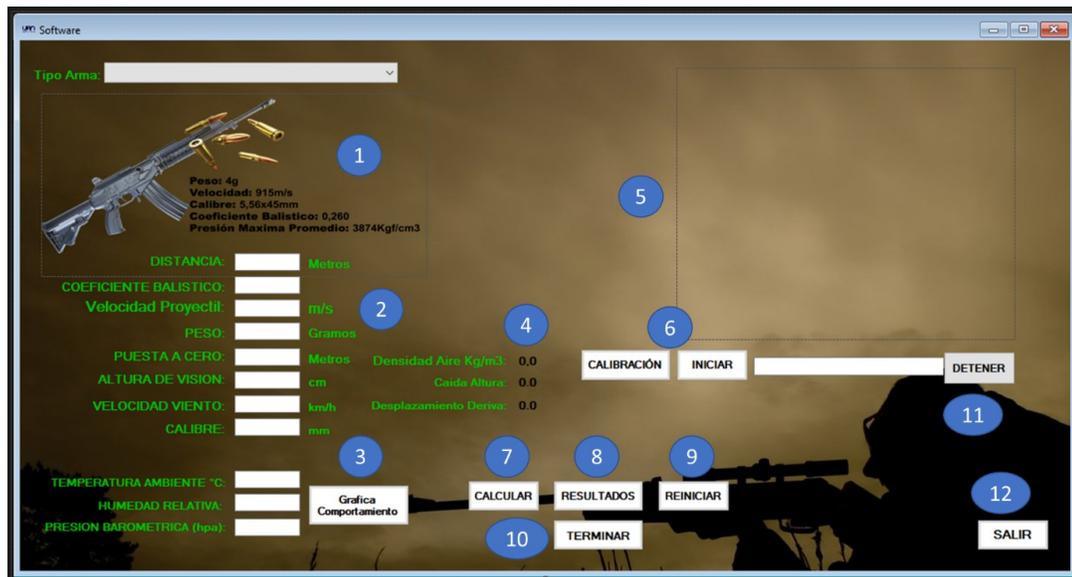
- **Trabajos Futuros**

Dentro de las mejoras al sistema de práctica, se plantean los siguientes que permitan un mayor acercamiento a un sistema de polígono real:

- Implementación de un sistema para el retroceso del arma y tener una mejor sensación de realismo y agregar elementos de interacción en el arma, algunos como miras.
- Ampliar el rango para el ingreso de parámetros y tener una mejor práctica.
- Mejorar el sistema físico para obtener los datos inalámbricamente, para hacer más fácil su montaje.
- Mejorar la apariencia el software para mayor fluidez de interacción con el usuario.
- Adaptar el sistema para que se permita realizar prácticas nocturnas.

A. Anexo A: Tutorial empleo del software

Figura. A-1: Apariencia panel principal. Fuente. Autor.



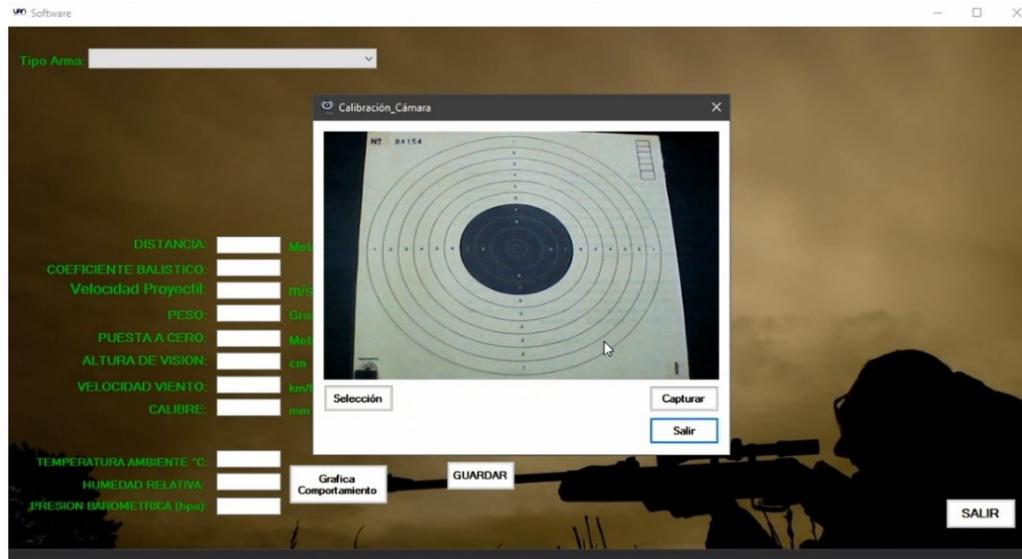
- 1) **Tipo Arma:** El usuario escoge el tipo de arma a usar, en este caso el fusil Galil Ace 23
- 2) **Parámetros de disparo:** Se introducen los parámetros necesarios para realizar los cálculos balísticos, algunas de las cuales son del fusil en cuestión.

- 3) **Grafica Comportamiento:** En este apartado se muestran las gráficas de comportamiento del proyectil bajo diferentes condiciones climáticas, estas según las características del terreno permitirán al usuario conocer el comportamiento del proyectil y como afecta el ambiente a su desplazamiento.
- 4) **Resultados Obtenidos:** Muestra los resultados obtenidos en la introducción de los parámetros de disparo, la densidad del aire que estará manejando, la desviación en altura y deriva.
- 5) **Cámara:** Muestra lo que está captando la cámara.
- 6) **Calibración – Iniciar:** Permite calibrar la cámara, centrar el blanco y evitar tomas de datos en falso, inicia la cámara web.
- 7) **Calcular:** Al oprimirlo muestra los resultados de la introducción de los parámetros, siempre que se hagan cambios.
- 8) **Resultados:** Luego de realizar toda la ejecución de los disparos abre una nueva interfaz la cual muestra los parámetros de disparo y los blancos con sus disparos.
- 9) **Reiniciar:** Reiniciar todo el programa, sus resultados y sus parámetros balísticos.
- 10) **Terminar:** Terminar la toma de datos y realiza el procesamiento de las imágenes captadas.
- 11) **Detener:** Detiene la cámara en caso de que lo requiera.
- 12) **Salir:** Sale de la aplicación.

Paso a paso para una práctica con el sistema en marcha.

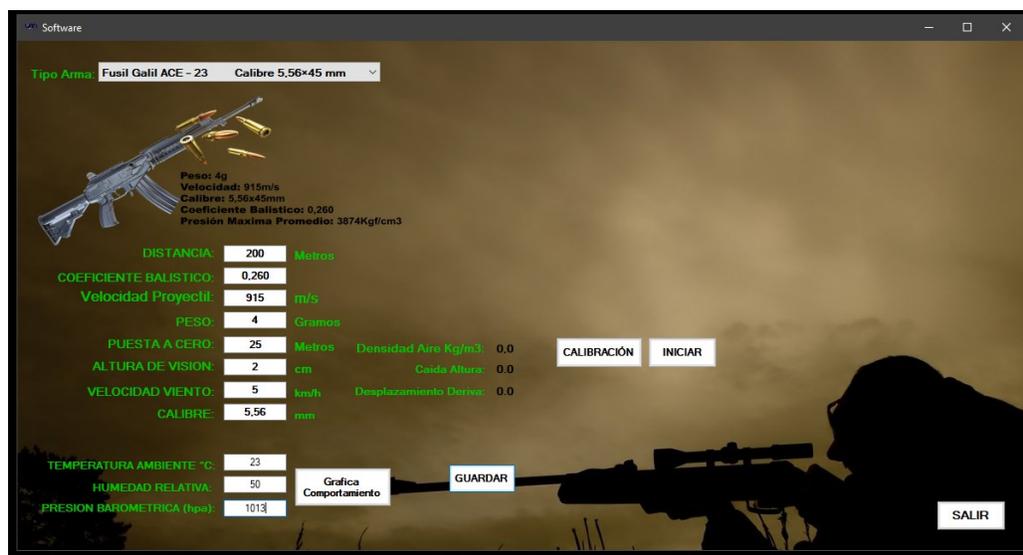
- **Calibración Camara:** Calibración de la cámara para obtener el blanco base en el cual se mostrarán luego los disparos hechos.

Figura. A-2: Practica del sistema calibración. Fuente Autor.



- **Ingreso Parámetros:** Se ingresan los parámetros que se tendrán en cuenta para la práctica de polígono.

Figura. A-3: Practica del sistema ingreso parámetros. Fuente Autor.



- **Inicio Práctica:** Se inicia la práctica de polígono, para lo cual se empieza a correo el programa para la detección del punto láser.

Figura. A-4: Practica del sistema inicio práctica. Fuente Autor.



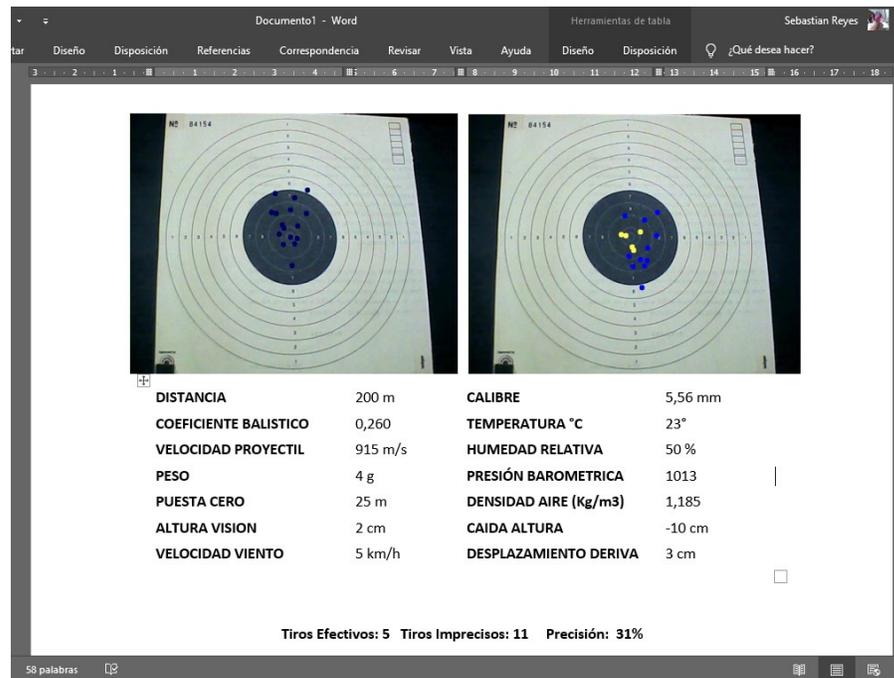
- **Terminar practica:** Al dar click en el botón terminar practica se pausa la detección del punto laser, y se pueden mostrar los resultados.

Figura. A-5: Practica del sistema fin práctica. Fuente Autor.



- **Generación documento:** Se da la opción al usuario de generar un archivo en Word con los datos introducidos para la práctica y se muestran los blancos con los puntos laser y los puntos de impacto calculados.

Figura. A-6: Practica del sistema generación documento. Fuente Autor.



- **Reinicio y final de practica:** Luego de mostrar los resultados, se reinician el sistema para que se pueda realizar una nueva practica de polígono.

Figura. A-7: Practica del sistema reinicio o fin de la práctica. Fuente Autor.



B. Anexo B: Blancos Practicante A

Figura. B-1: Resultados Blanco Prueba 1, Practicante A. Fuente Autor.



Figura. B-2: Resultados Blanco Prueba 2, Practicante A. Fuente Autor.



Figura. B-3: Resultados Blanco Prueba 3-I, Practicante A. Fuente Autor.



Figura. B-4: Resultados Blanco Prueba 3-II, Practicante A. Fuente Autor.



C.Anexo C: Blancos Practicante B

Figura. C-1: Resultados Blanco Prueba 1, Practicante B. Fuente Autor.



Figura. C-2: Resultados Blanco Prueba 2, Practicante B. Fuente Autor.



Figura. C-3: Resultados Blanco Prueba 3-I, Practicante B. Fuente Autor.



Figura. C-4: Resultados Blanco Prueba 3-II, Practicante B. Fuente Autor.



D.Anexo D: Blancos Practicante C

Figura. D-1: Resultados Blanco Prueba 1, Practicante C. Fuente Autor.



Figura. D-2: Resultados Blanco Prueba 2, Practicante C. Fuente Autor.



Figura. D-3: Resultados Blanco Prueba 3-I, Practicante C. Fuente Autor.



Figura. D-4: Resultados Blanco Prueba 3-II, Practicante C. Fuente Autor.



E.Anexo C: Registro fotográfico pruebas de campo

Figura. E-1: Practicante A probando el sistema. Fuente Autor.



Figura. E-2: Práctica con el sistema. Fuente Autor.



Figura. E-3: Practicante B, probando el sistema. Fuente Autor.



Figura. E-4: Práctica con el sistema. Fuente Autor.



Figura. E-5: Practicante C, Probando el sistema. Fuente Autor.



Figura. E-6: Practica con el sistema. Fuente Autor.



Bibliografía

- (NIOSH), I. N. (Enero de 2010). *Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH)*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/wp-solutions/2010-113_sp/default.html
- AForge*. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de http://www.aforogenet.com/framework/features/blobs_processing.html
- Aforge.Net*. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <http://www.aforogenet.com/>
- AforgeNet*. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <http://www.aforogenet.com/framework/docs/html/fd173e0a-647b-6b71-c714-b8ae3cc8bc36.htm>
- Alexander Falcón Ruiz, D. H. (s.f.). *Arma de Fuego Simulada usando PSoC*.
- Azcona-Cruz, M. I., Ramírez y Ayala, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77. Recuperado el Julio de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/473/47345916012.pdf>
- Carrillo, F. R. (10 de Diciembre de 2010). *Universidad Militar Nueva Granada*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6841/RinconCarrilloFernando2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Codaltec. (s.f.). *Codaltec*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://codaltec.com/es/productos/134/simulador-de-pol%C3%8Cgono-virtual>
- Codaltec. (s.f.). *Codaltec*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://codaltec.com/>
- Delito, O. d. (s.f.). *unodc.org*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://www.unodc.org/documents/e4j/Firearms/E4J_Firearms_Module_02_-_Basics_on_Firearms_and_Ammunition_ES_final.pdf
- Diego J., G. S. (2017). UNA CONCEPCIÓN INTEGRADORA DEL APRENDIZAJE HUMANO. *Integración Académica en Psicología*, 5(14). Obtenido de <http://integracion-academica.org/attachments/article/163/02%20Aprendizaje%20-%20DGonzalez.pdf>

- Dr Hernández Sánchez, H. (2013). Medio militar y trastornos auditivos inducidos por ruido. *Revista cubana de medicina militar*, 42(3), 396-402. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572013000300006
- Ejercito Nacional de Colombia. (s.f.). *Dipor.co*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.dipor.co/%7CDoctrina%20Publica%7C/2%20Ejercito%20Nacional/Manuales/EJC%204-22-1%20ARMAMENTO%20TOMO%202%20ARMAS%20LARGAS.pdf>
- Español, R. A. (s.f.). *rae.es*. Recuperado el 25 de septiembre de 2020, de <https://dle.rae.es/munici%C3%B3n>
- Española, R. A. (s.f.). *rae.es*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://dle.rae.es/proyectil>
- FM 3-22.9 RIFLE MARKSMANSHIP*. (2008). HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY (1 Enero 2008). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/3-22-9/index.html>
- Francisco, V. A. (2015). *Simulador de tiro con rifle*. Mexico D.F.
- Gagné, R. M. (1987). Las condiciones del aprendizaje. En *Teoría del procesamiento de la información* (págs. (pp. 6-11)). Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42807263/1_Teoria_del_procesamiento_de_la_informacion.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3D1_Teoria_del_procesamiento_de_la_informacion.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AK
- García, N. L. (Mayo de 2002). *Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de http://oa.upm.es/557/1/NICOLAS_FERNANDEZ_GARCIA.pdf
- Gloria Contreras, R. G. (2010). Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento. *Revista de Innovación Educativa*, 2(1), 86-100. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5547092>
- GNU.org*. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>
- GNU.org*. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.gnu.org/licenses/lgpl-3.0.html>

- HEIDY PAOLA CONDE BARRERO, M. P. (enero de 2009). *Iberoamericana Corporacion Universitaria*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <http://repositorio.iberoamericana.edu.co/handle/001/830>
- HoneyWell. (s.f.). *HoneyWell Safety*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://www.honeywellsafety.com/LA/Training_and_Support/Instrucciones_de_Ajuste_y_Term%C3%B3metro_de_Ruido.aspx
- Indra. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 25 de 2020, de <https://www.indracompany.com/>
- Indra. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://www.indracompany.com/sites/default/files/indra_ivictrix_es_2019.pdf
- indumil.org. (s.f.). Recuperado el 25 de septiembre de 2020, de <https://www.indumil.gov.co/product/cordova/>
- Indumil.org. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.indumil.gov.co/product/fusil-galil-ace-23/>
- Industrial, F. d. (Enero de 2011). *Escuela Colombiana de Ingenieria*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7863_ruido.pdf
- International shooting Sport Federation. (s.f.). Recuperado el 12 de Octubre de 2020, de <https://www.issf-sports.org/>
- Jiménez, C. M. (27 de Agosto de 2011). *Medicina Legal y Ciencias Forences*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.medicinalegal.gov.co/acerca-de-analisis-de-residuos-de-disparo?inheritRedirect=true>
- juridico, D. p. (s.f.). *dpej.rae.es*. Recuperado el 25 de septiembre de 2020, de <https://dpej.rae.es/lema/munici%C3%B3n>
- juridico, D. p. (s.f.). *dpej.rae.es*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://dpej.rae.es/lema/arma-de-fuego>
- Lemus., M. I. (4 de Enero de 2018). *Instituto nacional de ciencias forenses de guatemala*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.inacif.gob.gt/index.php/therapies/k2-blog/item/29-residuos-de-disparo>
- León Romero, L. T. (2018). *Diana Electrónica para mejorar el Rendimiento de los Deportistas del Club de Tiro Ricardo O'Donovan*, Trujillo 2018.

Leonel Cofre Maza, G. A. (s.f.). *www.theibfr2.com*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <http://www.theibfr2.com/RePEc/ibf/rgnego/rgn-v6n5-2018/RGN-V6N5-2018-2.pdf>

MathWorks. (5 de Noviembre de 2020). *MathWorks*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/help/images/convert-from-hsv-to-rgb-color-space.html>

McCoy, R. L. (1999). *Modern Exterior Ballistics - The Launch and flight Dynamics of Symetric*. Atglen, Pa: Schiffer Military History.

Medium. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://medium.com/@gastonace1/detecci%C3%B3n-de-objetos-por-colores-en-im%C3%A1genes-con-python-y-opencv-c8d9b6768ff>

Meggitt. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://meggitttrainingsystems.com/>

Meggitt. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://meggitttrainingsystems.com/simulation-training/military-virtual/fats-100mil-virtual-training-system/>

metrologia, C. e. (noviembre de 2015). *cem.es*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://www.cem.es/sites/default/files/files/EURAMET_cg-18_v04_traducci%C3%B3n_rev_final.pdf

municion.org. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://municion.org/producto/556-x-45-otan/>

Muñoz-Granados, O. (2019). Balística. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 7(14), 54-55.

OpenCv. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://opencv.org/>

OpenCV. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://docs.opencv.org/3.4/d9/d8b/tutorial_py_contours_hierarchy.html

OpenCV. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de https://docs.opencv.org/3.4/d4/d73/tutorial_py_contours_begin.html

Ramírez, C., Carrasco, E., Mariani, S., & Palacios, N. (Junio de 2006). *Biblioteca Humedales*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <http://biblioteca.cehum.org/handle/123456789/912>

Salas Perea, R. S. (1995). La simulación como método de enseñanza y aprendizaje. *Educación Médica Superior*, 9(1), 3-4. Obtenido de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21411995000100002&script=sci_arttext&lng=pt

Serway, R. &. (2008). Fuerza Resistiva proporcional a la rapidez al cuadrado del objeto. En *Física para Ciencias e Ingeniería. Volumen 1. 7ma. Edición* (págs. 150-151). MexicoD.F.

sites.google. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://sites.google.com/site/660formaciondecolor/home/como-obtiene-los-colores-un-televisor-o-monitor/modelo-de-color-rgb>

Villarejo, C. A. (2015). Simulador de tiro con captura laser. Mexico D.F.

VirTra. (s.f.). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de VirTra: <https://www.virtra.com/>

VirTra. (25 de Septiembre de 2020). Recuperado el 25 de Septiembre de 2020, de <https://www.virtra.com/how-virtra-uses-real-life-scenarios-in-their-use-of-force-training-simulators-to-prepare-police-officers-for-anything/>