



**“Actualización del polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9
Patria”.**

Cajamarca Palomo, Alex Augusto y Navas Tonato, Miguel Andrés

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica e
Instrumentación

Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo

Ing. Víctor Rubén Bautista Naranjo

21 de noviembre del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Tesis_Navas_Cajamarca.pdf

Scanned on: 15:59 October 20, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	308
Words with Minor Changes	88
Paraphrased Words	103
Omitted Words	0



El modo de distribución por:
DAVID
RAIMUNDO
RIVAS LALALEO



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Actualización del Polígono de Tiro Láser de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9 "Patria"** fue realizado por los señores **Cajamarca Palomo, Alex Augusto y Navas Tonato, Miguel Andrés**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 21 de noviembre del 2022

Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo

C. C.: 1802445302



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Cajamarca Palomo, Alex Augusto**, con cédula de ciudadanía n° 0504036922 y **Navas Tonato, Miguel Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 0503575060, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Actualización del Polígono de Tiro Láser de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9 "Patria"**, 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, 21 de noviembre del 2022

Cajamarca Palomo, Alex Augusto

C.C.: 0504036922

Navas Tonato, Miguel Andrés

C.C.: 0503575060



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación

Autorización de Publicación

Nosotros, **Cajamarca Palomo, Alex Augusto**, con cédula de ciudadanía n° 0504036922 y **Navas Tonato, Miguel Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 0503575060, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Actualización del Polígono de Tiro Láser de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9 "Patria"**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 21 de noviembre del 2022

Cajamarca Palomo, Alex Augusto

C.C.: 0504036922

Navas Tonato, Miguel Andrés

C.C.: 0503575060

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado con mucho amor a Dios quien inspiró mi espíritu para llevar a cabo este estudio, por darme salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y como profesional; a mis padres María y Augusto por ser pilares fundamentales de todo lo que soy, por brindarme su apoyo incondicional, por sus oraciones, por haber depositado su confianza, su amor y su anhelo. A mis hermanas Olga, Rocío y Gaby por brindarme su apoyo emocional y espiritual a lo largo de mi trayectoria, para poder culminar mi carrera profesional, a mis cuñados que son como mis hermanos Fernando y William, que me motivaron a ser una persona de bien, a mis sobrinos Isaac, Abigail, Belén, Abdiel, Josué y Karen quienes con su ternura y alegría han sido parte de mi inspiración, también quisiera agradecer a Kimberly por acompañarme, brindarme su cariño y enseñarme a ver la vida de una manera diferente y soñar de nuevo; a su familia quienes con sus consejos y afecto me motivaron a seguir adelante.

A todas esas personas que depositaron su confianza en mí y me tomaron como ejemplo, espero haber cumplido sus expectativas, GRACIAS A TODOS.

Cajamarca Palomo, Alex Augusto

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación lo dedico a mis padres Edwin Navas y Miriam Tonato por el apoyo incondicional que me han brindado durante mi vida estudiantil y la motivación que me han brindado, por su ejemplo de superación, sacrificio y todo lo que hacen para ayudarme a cumplir mis metas, a mi hermano Mathias, por su amor y cariño que me inspira a seguir mejorando. También a mis tíos, Diego, Jane y Jaque por estar siempre para mí, apoyándome como hermanos siendo un pilar fundamental en mi formación académica y personal. A mis abuelitos Segundo, María, Jorge y Teresa, por su guía, consejos y confianza, que me ayudaron a cumplir esta meta.

Navas Tonato, Miguel Andres

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por las bendiciones recibidas de su parte, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de nuevas oportunidades, experiencias y sobre todo felicidad.

Agradezco de manera especial a mis padres, hermanas, hermanos, sobrinos, sobrinas, por su constante apoyo en todos estos años, por su amor, su paciencia, dedicación y cuidado. Por haberme enseñado que con esfuerzo, valentía y fe los sueños se vuelven realidad.

Gracias Sr. Dr. David Rivas y Sr. Ing. Víctor Bautista por su valiosa ayuda académica en el desarrollo de este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento al cuerpo de docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga por su aporte con sus sabios conocimientos en el transcurso de mi carrera estudiantil, hasta alcanzar el título de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación.

Cajamarca Palomo, Alex Augusto

Agradecimiento

Agradezco a mis padres, especialmente por su apoyo incondicional en el desarrollo de este proyecto y en mi carrera universitaria; ya que ellos son una inspiración para poder cumplir mis objetivos.

Un agradecimiento especial al Ing. David Rivas y Ing. Víctor Bautista por el conocimiento y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga y a los docentes de la carrera que compartieron su conocimiento para mi formación profesional.

Navas Tonato, Miguel Andrés

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Tabla de contenidos	10
Índice de figuras	14
Índice de tablas.....	17
Resumen.....	18
Abstract	19
Capítulo I: Definición del Proyecto	20
Planteamiento del problema	20
Antecedentes	21
Justificación e importancia.....	22

Objetivos	23
<i>Objetivo general</i>	23
<i>Objetivos específicos</i>	23
Variables de investigación.....	24
<i>Variable independiente</i>	24
<i>Variable dependiente</i>	24
Hipótesis	24
Marco teórico	24
Capítulo II: Estado del arte	26
Entrenamiento militar	26
Polígono de tiro	27
<i>Elementos del polígono de tiro</i>	27
<i>Polígonos de tiro láser</i>	28
<i>Elementos del polígono de tiro láser</i>	30
<i>Polígonos de tiro láser en Ecuador</i>	31
Funcionamiento del polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales	
No. 9 “Patria”	32
Sistema ciber – físico	35
Internet de las cosas	37
Intranet de las cosas	37
Topologías de red.....	38
Comunicaciones inalámbricas	38
Capítulo III: Diseño del SCF	41

Especificaciones del diseño	43
<i>Elemento primario</i>	43
<i>Placa de desarrollo</i>	46
<i>Software de diseño de HMI</i>	49
Diseño del nodo sensor de recepción láser	51
<i>Diseño y construcción del nodo sensor</i>	51
Implementación de la plataforma IoT	56
<i>Configuración servidor – cliente utilizando ESP8266</i>	56
<i>Comunicación ESP8266 – Unity 3D</i>	59
Creación de base de datos	60
Desarrollo del HMI	61
Capítulo IV: Resultados Experimentales	69
Implementación del sistema	69
<i>Prueba de funcionamiento del nodo sensor</i>	70
<i>Prueba de funcionamiento 1</i>	72
<i>Prueba de funcionamiento 2</i>	75
<i>Prueba de funcionamiento 3</i>	79
<i>Prueba de funcionamiento 4</i>	84
Análisis de resultados.....	87
Alcances.....	90
Limitaciones.....	91
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	93
Conclusiones	93

Recomendaciones	94
Bibliografía	95
Anexos.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Entrenamiento del personal militar de las Fuerzas Armadas del Ecuador.</i>	26
Figura 2 <i>Blancos de anillo ubicados en un polígono de tiro real.</i>	28
Figura 3 <i>Polígono de tiro láser.</i>	29
Figura 4 <i>Siluetas del polígono de tiro láser dela Brigada de Fuerzas Especiales No.9 “Patria”.</i> 33	
Figura 5 <i>Elementos del sistema láser adaptativo.</i>	34
Figura 6 <i>Fusil para el polígono de tiro de la Brigada de Fuerzas Especiales No.9 “Patria”.</i>	35
Figura 7 <i>Estructura básica de un sistema ciber – físico.</i>	36
Figura 8 <i>Diseño del sistema ciber – físico.</i>	42
Figura 9 <i>Módulo fotoresistivo LM393.</i>	45
Figura 10 <i>ESP8266 NodeMCU.</i>	49
Figura 11 <i>Diseño de la estructura del nodo sensor.</i>	52
Figura 12 <i>Diagrama esquemático del nodo sensor – primera estructura</i>	53
Figura 13 <i>Diagrama esquemático del nodo sensor – segunda parte.</i>	54
Figura 14 <i>Blancos de disparo.</i>	55
Figura 15 <i>Conexión entre las tarjetas ESP8266 en configuración servidor – cliente.</i>	58
Figura 16 <i>Comunicación serial Unity3D - ESP8266.</i>	59
Figura 17 <i>Diagrama de flujo de la metodología utilizada para el desarrollo del HMI.</i>	62
Figura 18 <i>Pantallas de visualización de prácticas de tiro en el polígono láser.</i>	63

Figura 19 <i>Área de trabajo canvas con elementos UI</i>	64
Figura 20 <i>Pantalla principal del HMI del polígono de tiro</i>	66
Figura 21 <i>Pantalla secundaria del HMI del polígono de tiro</i>	67
Figura 22 <i>Pantalla terciaria del HMI del polígono de tiro</i>	68
Figura 23 <i>SCF para la cuantificación de impactos de un polígono de tiro láser</i>	69
Figura 24 <i>Pantalla terciaria del HMI del polígono de tiro</i>	71
Figura 25 <i>Pantalla terciaria del HMI del polígono de tiro</i>	72
Figura 26 <i>Prueba de funcionamiento 1 del SCF</i>	73
Figura 27 <i>Informe de la práctica 1</i>	74
Figura 28 <i>Base de datos del SCF implementado en el polígono de tiro láser</i>	75
Figura 29 <i>Prueba de funcionamiento 2 del SCF</i>	76
Figura 30 <i>Cuantificación de impactos de la prueba de funcionamiento 2</i>	77
Figura 31 <i>Informe de la práctica No.12 de la prueba de funcionamiento 2</i>	78
Figura 32 <i>Base de datos de la prueba de funcionamiento 2</i>	79
Figura 33 <i>Prueba de funcionamiento 3 del SCF</i>	80
Figura 34 <i>Prueba de funcionamiento 3 – limitación de sensado</i>	81
Figura 35 <i>Pantalla de cuantificación de impactos de la prueba de funcionamiento 3</i>	82
Figura 36 <i>Informe de la prueba de funcionamiento 3</i>	83
Figura 37 <i>Base de datos de la prueba de funcionamiento 3</i>	84

Figura 38 <i>Prueba de funcionamiento 4 del SCF.</i>	85
Figura 39 <i>Informe de la prueba de funcionamiento 4 del SCF.</i>	86
Figura 40 <i>Base de datos de la prueba de funcionamiento 4 del SCF.</i>	87
Figura 41 <i>Práctica de tiro con el sistema de recepción láser antiguo.</i>	89
Figura 42 <i>Limitación en el ángulo de disparo del nodo sensor</i>	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Topologías de red</i>	38
Tabla 2 <i>Tecnologías y redes inalámbricas</i>	39
Tabla 3 <i>Distribución de pines del módulo LDR LM393</i>	44
Tabla 4 <i>Distribución de pines del módulo LDR LM393</i>	46
Tabla 5 <i>Comparativa entre placas de desarrollo</i>	47
Tabla 6 <i>Características del microcontrolador ESP8266</i>	48
Tabla 7 <i>Comparativa entre softwares de diseño HMI</i>	50
Tabla 8 <i>Direcciones IP para la configuración del servidor</i>	57
Tabla 9 <i>Datos enviados y/o recibidos Unity3D - ESP8266</i>	60
Tabla 10 <i>Resultados de las pruebas realizadas</i>	88

Resumen

Se realizó el diseño de un sistema ciber – físico con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos de las prácticas de tiro en un polígono de tiro láser, realizadas por el personal militar de la Brigada de Fuerzas Especiales No 9 “Patria”. El sistema involucra 3 etapas o bloques; la primera etapa consiste en un sistema electrónico físico que consta de nodos sensores de recepción láser. Los nodos sensores se montan en una configuración servidor – cliente, de tal modo que, los clientes captan la señal del disparo efectuado y la transmiten hacia un dispositivo servidor. El dispositivo servidor complementa la plataforma IoT al estar enlazado a una computadora para de visualización del número de aciertos alcanzados. En la segunda etapa se encuentra el canal de comunicación, que enlaza de manera inalámbrica los clientes al servidor y a su vez el sistema electrónico con un último bloque llamado bloque computacional. Finalmente, la tercera etapa se encarga del desarrollo de una base de almacenamiento de datos local y una HMI donde se evalúa y visualiza el registro del sensor el que contiene el número de tiros acertados, localización en la silueta, fecha y hora de cada disparo. Bajo este diseño se logra cuantificar los impactos y la actualización del polígono de tiro de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro 9 “Patria”.

Palabras clave: sistema ciber – físico, polígono de tiro láser, nodo sensor, plataforma IoT

Abstract

The cyber-physical system design is carried out with the objective of evaluating the results obtained from the shooting practices in the laser shooting range, carried out for the military personnel of the Special Forces Brigade No 9 "Patria". The system includes 3 stages or blocks; The first stage consists of a physical electronic system which consists of laser reception sensor nodes. The sensor nodes are mounted in a master-slave configuration, so that the slaves capture the demonstrated trigger signal and transmit it to a master device. The master device complements the IoT platform by being linked to a computer to display the number of hits achieved. In the second stage is the communication channel, which wirelessly links the slaves to the master and in turn the electronic system with a last block called computational block. Finally, the third stage is responsible for the development of a local data storage base and an HMI from which the sensor record containing the number of successful shots, location on the silhouette, date and time of each shot is evaluated and displayed. Under this design, it is possible to quantify the impacts and update the firing range of the Special Forces Brigade No. 9 "Patria".

Keywords: cyber– physical system, laser shooting polygons, sensor node, IoT platform

Capítulo I

Definición del Proyecto

Planteamiento del problema

Debido a la situación económica actual del país, el Estado ha tomado limitaciones en cuanto al presupuesto aprobado para uso de las Fuerzas Armadas, lo que conlleva a buscar nuevos métodos y tecnologías existentes o por investigar que permitan al personal desenvolverse en su ámbito de adiestramiento, a la par y en consideración también que los campos de preparación actualmente existentes en las diferentes brigadas tienen múltiples restricciones las cuales no permiten brindar la experiencia necesaria, además que el costo de dicha práctica real es muy elevada tanto en mantenimiento como implementos debido a la frecuencia pues el adiestramiento para el personal debe ser constante.

En este contexto la institución utiliza simuladores de tiro guiado por láser, sin embargo, la silueta para estos polígonos no se asemeja a una situación real puesto que los blancos son de tamaño reducido y posición fija; se suma a todo esto que la tecnología que se encuentra implementada va quedando obsoleta pues se encuentran funcionando mediante receptores infrarrojos los cuales están diseñados mediante un fototransistor donde se encuentra un material piroeléctrico el cual necesariamente requiere de un ambiente oscuro. En casos reales la práctica se debe desarrollar a la luz del día, con blancos móviles y de tamaño considerable tomando en cuenta la seguridad de los practicantes así también la autenticidad que en este se debe efectuar. Además, se debe considerar que el volumen de cableado existente es excesivamente abultado ya que la tecnología que se está utilizando en estos polígonos es para comunicación serial la cual presenta inconvenientes como pérdida de datos y velocidad de

comunicación reducida, seguidamente de ello los ordenadores donde se almacena la información deben estar situados en las cercanías del polígono y alimentados de 110 V, siendo esta la principal causa de que las siluetas deban permanecer estáticas, por lo que se requiere un cambio tanto en software como hardware.

Teniendo en cuenta también que el sistema requiere un registro y visualización de datos donde actualmente la interfaz implementada cuenta con falencias como el actualizarse de forma manual esta se requiere lo haga de forma espontánea y cada uno de los resultados reportados en la silueta sean reportados también a una base de datos que permitan verificar dicha información a la vez que este sea compatible con cualquier sistema operativo.

Antecedentes

Actualmente la preparación del personal militar de las Fuerzas Armadas del Ecuador (FF. AA.) tiene como objetivo principal el cumplimiento de la misión que le es conferida por la Constitución de la República del Ecuador expedida en el año 2008, que específicamente en su artículo 158, establece que “la misión fundamental de la defensa de la soberanía y la integridad territorial” (Art. 158. Fuerzas Armadas y Policía, 2008, p. 98). Esto implica el entrenamiento de sus tropas y el uso del equipo esencial de adiestramiento.

El entrenamiento de tiro se constituye como uno de los requisitos indispensables dentro del personal de las FF. AA., facultando el desarrollo de destrezas y habilidades para el correcto uso del armamento militar. En este marco el ejercito viene trabajando y tomando acciones en conjunto con las necesidades del Estado Ecuatoriano lo cual involucra el empleo de personal y el uso de medios y recursos. Por lo mencionado, es importante recalcar que en el adiestramiento virtual resulta imprescindible la aplicación de la tecnología, especialmente en la

electrónica y desarrollo de software, con algunos proyectos de realce como la automatización de blancos o dianas de un polígono de tiro para detección de impactos, utilizando para ello pistolas de CO2 que cuentan con un sistema de movimiento horizontal con alcance de posición, por otro lado la recepción de tiro se realizó con sensores resistivos que detectan puntajes que tiene el blanco y una HMI en el software Labview para visualización del alcance del tiro efectuado. (Saona Domínguez, 2014)

En la actualidad la necesidad de entrenar al personal militar ha dado paso a la investigación sobre la factibilidad y automatización de campos de tiro, a su vez el desarrollo tecnológico permite la implementación de dispositivos como un smartphone o pantalla touch a fin de tener una visualización y control total de los tiros que en el campo se realicen (Puyo Poloche & Ruiz López, 2017). Esto requiere tener conocimientos sobre automatización, control y sobre todo sistemas de comunicaciones puesto que con la utilización de dispositivos de monitoreo es indispensable el uso de tecnologías de comunicación entre los dispositivos móviles con el nodo sensor implementado para la recepción de tiro y dispositivos finales que en conjunto cumplen con el objetivo de simular la práctica de tiro y además disminuye el costo de entrenamiento por el uso de armamento y municiones reales.

Justificación e importancia

Para el cumplimiento de la misión de las FF. AA. se requiere de un continuo perfeccionamiento en métodos de defensa y tácticas militares, específicamente en el uso de armamento liviano, para lo cual se emplean los diferentes polígonos de tiro presentes en las unidades militares del país, así como también ya se emplean sistemas electrónicos y mecánicos en los campos de tiro desarrollándose múltiples proyectos técnicos de investigación que han permitido un entrenamiento táctico con nueva tecnología.

De manera general para el entrenamiento con armas de fuego se utiliza polígonos de tiro, que se caracterizan por estar ubicados en terrenos aislados usualmente de difícil acceso ya que los mismos deben garantizar una estricta seguridad tanto para practicantes como terceros, además del coste de mantenimiento de estos campos es muy elevado junto con el costo de consumo de munición, representan la asignación de un elevado presupuesto anual.

El uso de la tecnología para mejorar la eficiencia de múltiples procesos como en este caso al implementar sistema de entrenamiento lograra conseguir resultados similares que un polígono de tiro convencional, obteniendo un beneficio en el coste tanto de implementación y mantenimiento, eliminando el riesgo de la integridad de los practicantes. (permitir operar dentro de un ambiente adecuado o normal, escenarios diferentes, escalabilidad).

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema ciber – físico para la cuantificación de impactos y actualización del polígono de tiro de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.

Objetivos específicos

- Analizar el funcionamiento del polígono de tiro láser implementado en el polígono de tiro de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.
- Realizar el estado del arte sobre polígonos de tiro láser.
- Diseñar el nodo sensor de recepción láser.
- Implementar una plataforma de IoT.
- Desarrollar una HMI para la visualización de los datos adquiridos.
- Evaluar el sistema bajo condiciones de entrenamiento.

Variables de investigación

Variable independiente

Diseño del sistema ciber – físico para la cuantificación de impactos.

Variable dependiente

Actualización del polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.

Hipótesis

El diseño del sistema ciber – físico para la cuantificación de impactos permite actualización del polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9 “Patria”.

Marco teórico

La formación adecuada del personal que conforma el campo militar es de suma importancia. Por esta razón a nivel global, regional y nacional se destinan recursos exclusivos para su adiestramiento, poniendo a su disposición cursos que mejoran sus competencias profesionales (Andrade Torres & Yandún Paspuel, 2020). Entre las prácticas a realizarse y que requieren de estrictas medidas de seguridad y capacitaciones previas se encuentra el tiro, para el cual se maneja armamento real en campos destinados a este fin, denominados polígonos de tiro.

Los campos de entrenamiento pueden ser de distinto tipo y según este aspecto, el tipo de armamento que se requiera y el rango del personal militar el costo de entrenamiento varia (Alvaro Taipe & Guascal Vélez, 2021). En Ecuador, los miembros del personal de oficiales de las Fuerzas Armadas son los encargados de establecer los precios de entrenamiento, considerando tanto el campo utilizado como el tipo de armamento y municiones que se utilicen para cumplimiento de este objetivo. Los espacios de práctica pueden ser diversos, están los

denominados polígonos de tiro real, interiores, exteriores, reducidos y los polígonos de tiro virtual, que se encuentran en auge hoy en día por la cantidad de tecnología que permite su implementación.

Dado el desarrollo tecnológico, hoy en día la implementación de polígonos de tiro láser es una realidad bastante práctica puesto que logra recrear múltiples escenarios de entrenamiento de manera virtual, protegiendo de esta manera la integridad del practicante sin disminuir la adquisición de destreza para el uso de armamento. Bajo este contexto, surge la integración de los sistemas ciber – físicos (SCF) en los campos de práctica, estos incorporan tecnologías de computación, comunicación y control a fin de obtener un mecanismo físico de recepción de tiro y una parte virtual que controle y monitoree la operación realizada en tiempo real y desde lugares remotos (Chandy, 2010).

Asimismo, con la puesta en marcha de los SCF se contempla la utilización del internet de las cosas (IoT) a fin de lograr la implementación de canales de comunicación fiables que permitan el intercambio de información entre los dispositivos electrónicos encargados de detectar los disparos realizados y fuentes de control remotas. IoT se constituye como una infraestructura que comprende, además de lo mencionado, plataformas en la nube, entre cuyos objetivos se encuentra principalmente el almacenamiento de cantidades gigantes de información y el desarrollo de aplicaciones móviles para el control y monitoreo de sistemas implementados bajo esta modalidad.

Capítulo II

Estado del arte

Entrenamiento militar

En el campo militar es necesario e indispensable que los integrantes del mismo reciban instrucción o formación adecuada a fin de adquirir destrezas, habilidades y capacidades en torno al uso de armamento, estrategia militar y la supervivencia en combate y conflictos bélicos. En la figura 1 se puede observar el entrenamiento del personal militar de las Fuerzas Armadas del Ecuador en el polígono de tiro con fusil ubicado en Tiputini – Orellana.

Figura 1

Entrenamiento del personal militar de las Fuerzas Armadas del Ecuador.



Nota. Fotografía tomada durante el entrenamiento de tiro del Batallón de Selva No. 57 Montecristi acantonado en la parroquia Tiputini, cantón Aguarico. Práctica de tiro con fusil HK33E de 5.56 mm x 45.

Polígono de tiro

Hoy en día en el campo militar existen múltiples herramientas de entrenamiento que permiten al personal adquirir destrezas y habilidades entorno al uso de armamento; entre dichas herramientas esencialmente se encuentran los polígonos de tiro. Los polígonos de tiro son espacios destinados para la práctica y uso correcto de armas.

Existen varios entornos donde los polígonos de tiro pueden ubicarse como los espacios reales ubicados generalmente en lugares alejados (Lucero Urresta, 2020), polígonos ubicados en campos pequeños llamados reducidos (Alvaro Taipe & Guascal Vélez, 2021), espacios interiores (Castro Silva, 2018) y espacios exteriores. Del mismo modo, en la actualidad se han desarrollado los denominados polígonos de tiro láser considerados polígonos virtuales ideados con el objetivo de realizar el mismo entrenamiento involucrando simuladores (Fedaravičius et al., 2020), de esa manera se reduce el costo de entrenamiento por el uso de municiones y se pueden integrar sistemas electrónicos que permitan cuantificar el número de impactos logrados entre otras variables de interés.

Elementos del polígono de tiro

Los elementos de un campo de tiro son esencialmente: el espacio destinado para el entrenamiento, el arma adaptada para la práctica, municiones y los blancos de tiro. Los blancos de tiro son objetos construidos con el fin de recibir el disparo efectuado por el personal practicante. Los blancos de tiro pueden ser:

- Siluetas que asemejan personas: son utilizados sobre todo en campos de tiro simulado.
- Anillos de diferente radio.
- Poppers: son elementos de acero blindado.

En la figura 2 se puede visualizar blancos de tiro de tipo anillo colocados en un campo de tiro abierto. En este tipo de campos de entrenamiento, la cuantificación de los tiros se realiza mediante la visualización de los agujeros sobre el blanco. Los blancos de tipo anillo, también es utilizado en los polígonos de tiro láser, considerando la adaptación de un dispositivo de recepción láser.

Figura 2

Blancos de anillo ubicados en un polígono de tiro real.



Nota. Fotografía de los blancos de tiro en un campo de entrenamiento abierto. Práctica efectuada por el Batallón de Selva No. 57 Montecristi.

Polígonos de tiro láser

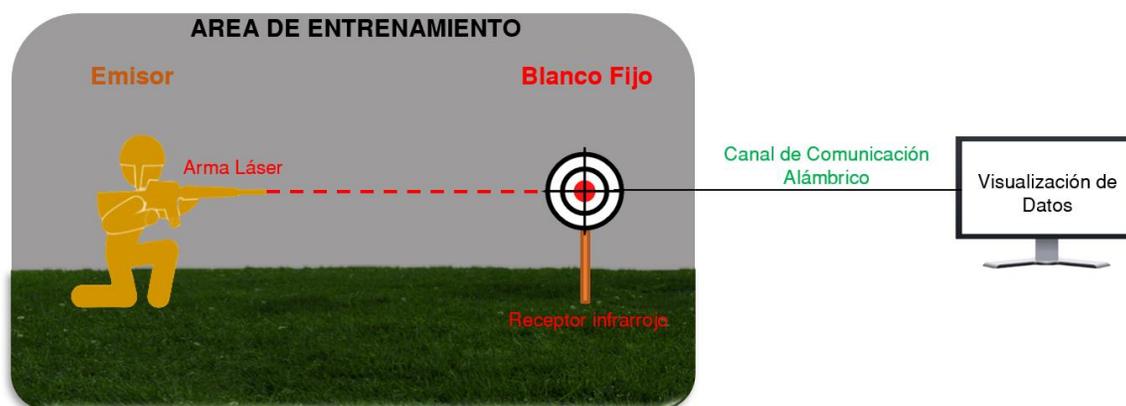
Un polígono de tiro láser es un lugar reducido, cuyo ambiente oscuro incorpora la tecnología necesaria para el perfeccionamiento de las técnicas de disparo del personal

autorizado sin la necesidad de utilizar armamento real. La figura 3 muestra un esquema general de un polígono de tiro láser convencional, el cual se caracteriza por el uso de armas que no utilizan municiones reales, usa en su lugar un sistema láser que emite un rayo, el cual es detectado por el receptor o blanco fijo compuesto por dispositivos electrónicos.

Este tipo de campo de adiestramiento, cuenta con pantallas de visualización de datos como el nombre del practicante y el número de tiros realizados por mencionar los más importantes. Todo esto, a fin de que la práctica realizada pueda ser registrada y analizada para determinar el avance del practicante.

Figura 3

Polígono de tiro láser.



Nota. En la figura se visualizan los elementos básicos de un polígono de tiro láser.

A pesar de que esta herramienta puede verse costosa por la implementación de equipos y sistemas electrónicos, a largo plazo resulta ser una solución factible, efectiva y

económica como herramienta de entrenamiento, puesto que no utiliza municiones reales y logra recrear todo tipo de situaciones a las cuales el personal militar se puede enfrentar.

Además, no existe un daño evidente en los blancos de tiro por la utilización de sistemas de captación láser y, provee una mayor confiabilidad en la cuantificación de tiros realizados y acertados tras el registro y almacenamiento de los mismos por el equipo computacional.

Elementos del polígono de tiro láser

El sistema de entrenamiento de tiro láser comprende varios elementos y accesorios tanto para el funcionamiento del sistema como para precautelar el bienestar y seguridad del personal en entrenamiento. Esencialmente son cinco elementos que hacen funcionar el sistema de entrenamiento:

- Rack de equipos: comprende toda la parte computacional del polígono, computadoras, pantallas, cámaras de video y audio, sistema de sonido, etc.
- Blancos de tiro: son las figuras, siluetas, etc., donde se inserta el detector láser.
- Sistema de detección de disparos: también llamado nodo sensor para el caso de estudio. Está constituido por sensores de recepción láser que captan el rayo emitido por el disparador láser.
- Disparador láser: es un sistema adaptado y/o montado sobre el arma de entrenamiento para la emisión de un rayo láser al apretar un gatillo. Simulando de esta manera el disparo.
- Equipos / medios de comunicación: son los medios alámbricos o inalámbricos utilizados para comunicar los dispositivos electrónicos con el rack de equipos.

Polígonos de tiro láser en Ecuador

El avance tecnológico ha permitido el desarrollo de simuladores de tiro que presentan situaciones hiperrealistas al practicante, aumentando el dinamismo y la adquisición de destrezas en el campo de práctica. En el área de entrenamiento militar existen múltiples simuladores de disparo, están los simuladores de disparo para vehículos blindados, lanzagranadas, sistemas antiaéreos, artillería, sistemas de entrenamiento individual con fusil y pistola, etc.

Los sistemas de adiestramiento individual con armamento adaptado, han sido los de mayor interés para la industria militar por los beneficios brindados; y, por lo tanto han evolucionado de manera significativa en este sector, entre ellos están los simuladores Virtra, Victrix y Noptel, utilizados en Estados Unidos y en Europa para el entrenamiento militar especializado (Herencia Rivero, 2016).

Por otro lado, a nivel regional, México, Colombia, Brasil, Uruguay, Venezuela, Paraguay, Chile y Argentina han mostrado interés e invertido en el estudio, análisis e implementación de simuladores locales y portátiles, de todo tipo de disparos, desde armas cortas como pistolas hasta largas como fusiles y carabinas (Villalba Novoa, 2015).

Ecuador por su parte, se encuentra en vías de desarrollo en cuanto a la implementación de polígonos de tiro láser; puesto que, en su gran mayoría, los campos utilizados son abiertos y se encuentran ubicados en sectores estratégicos para evitar accidentes dado en uso de armamento real durante la práctica. Entre los sistemas de entrenamiento virtual incorporados están:

- Simuladores de tiro para vehículos blindados: la investigación llevada a cabo por el CICTE en conjunto con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE hizo posible la implementación del sistema de simulación de tiro para tanques tipo ACR AMX-13 de 105 milímetros en la Escuela de Caballería Blindada y la Brigada de Caballería Blindada No. 11. Este sistema es el único de su tipo implementado en el país.
- Polígonos de tiro láser individual: a diferencia de los simuladores para tanques, en el país existen varios simuladores de tiro individual, entre ellos se encuentra el sistema de entrenamiento de tiro individual y colectivo – SETIC en Cuenca, el sistema de entrenamiento de disparo inmenso de tres pantallas de 180” desarrollado por ASTINAVE EP, el polígono de tiro laser desarrollado por la empresa privada ICR y el polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.

Funcionamiento del polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”

El polígono láser de entrenamiento de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria” utiliza 8 blancos de tiro fijos en forma de siluetas como se observa en la figura 4. Está diseñado para el uso de armamento liviano y se encuentra ubicado en un espacio completamente cerrado y oscuro a fin de evitar falsas alarmas en cuanto a la detección de tiros. Las dimensiones de esta área son:

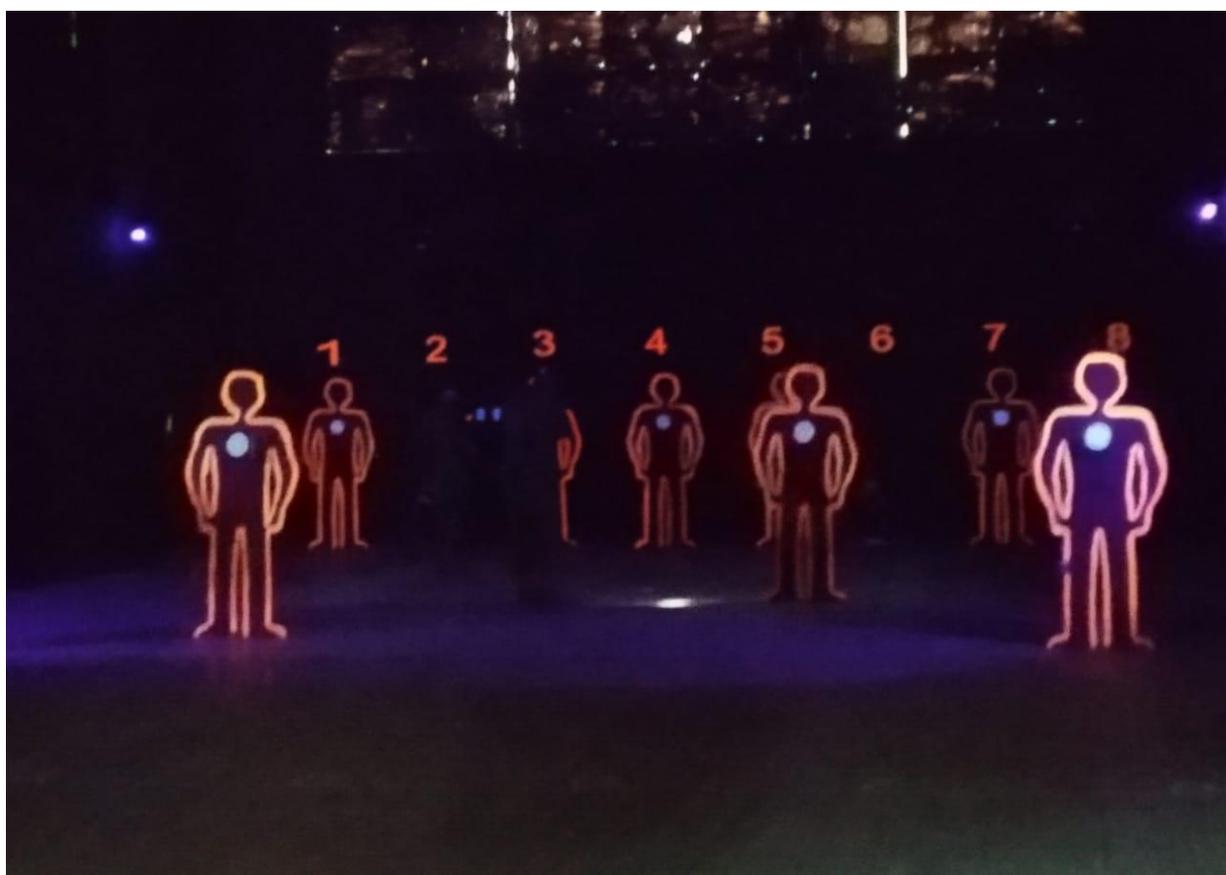
- Externas: 50 m de largo x 15 m de ancho.
- Internas: 40 m de largo x 9 m de ancho.

Esta área, también conocida como campo de entrenamiento virtual, fue construida y adaptada con el objetivo de llevar a cabo prácticas de tiro con fusil sin el uso de armamento balístico. De

este modo, integra dispositivos electrónicos a fin de simular el tiro efectuado por el personal practicante y contabilizar los aciertos logrados.

Figura 4

Siluetas del polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 "Patria".



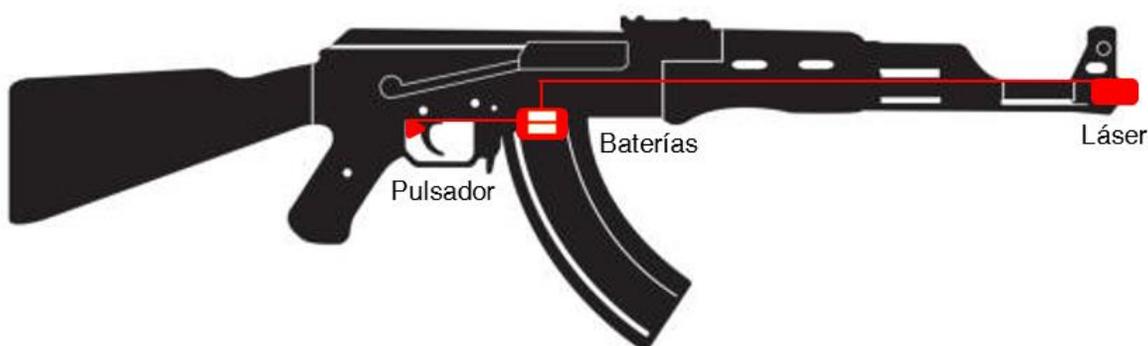
Nota. Fotografía tomada en el polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 "Patria".

Para el entrenamiento, las armas utilizadas son fusiles con sistemas láser adaptativos que constan esencialmente con un disparador láser, baterías y un pulsador ubicado debajo del

gatillo para efectuar el tiro, como se puede ver en la figura 5. Estos dispositivos están conectados de tal manera, que, al apretar el gatillo, se emite el disparo láser como si se hubiese tratado de un disparo con un arma real.

Figura 5

Elementos del sistema láser adaptativo



Nota. En la figura se puede observar el diagrama de elementos del sistema láser adaptativo utilizado para la práctica de disparo en un polígono de tiro láser.

El disparo se efectúa tras presionar el pulsador; se emite una luz láser que llega hasta un único sensor ubicado en cada silueta. Luego de recibir el disparo láser, el sensor envía la información captada hacia un Hub serial de 8 puertos correspondientes a cada sensor. Además de los elementos mencionados, el fusil de entrenamiento del polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 "Patria", posee cargas de aire que simulan el sonido del disparo, logrando más realismo al momento de efectuar el tiro durante el entrenamiento. El arma de adiestramiento utilizada en este campo de entrenamiento adaptado se puede observar en la figura 6.

Figura 6

Fusil para el polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.



Nota. Fotografía tomada del arma de entrenamiento adaptada para el polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.

Finalmente, el hub serial se conecta a un computador que contiene una interfaz de visualización. En el computador se muestra una HMI con el número de tiros realizados e imágenes de la localización de los mismos. La interfaz de visualización permite únicamente observar los tiros realizados y resetearlos para realizar un nuevo entrenamiento, no tiene la funcionalidad de generar reportes para cuantificar y cualificar el entrenamiento realizado o prácticas pasadas.

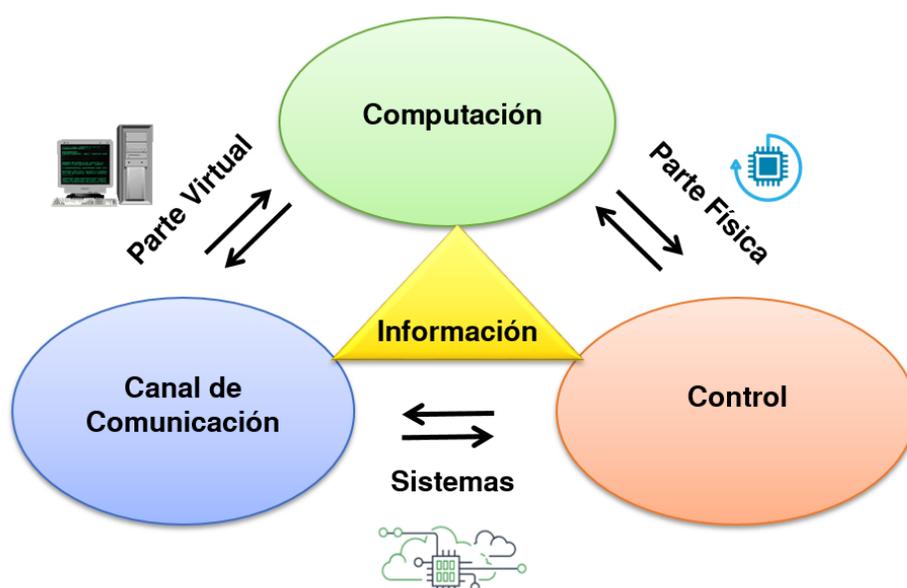
Sistema ciber – físico

Un Sistema ciber – físico (SCF) resulta de la unión de una parte física y una parte virtual que comprende la integración de tecnologías de computación, comunicación y control como se muestra en la figura 7. Un SCF tiene como objetivo principal, convertirse en un sistema autónomo, capaz de operar por si solo de manera fiable y ofrecer un conjunto de servicios

como el control, monitoreo, supervisión y tratamiento de la información proveniente de sistemas físicos. Por lo cual, se puede asegurar que los SCF superan por mucho a los sistemas convencionales en cuanto a capacidad, seguridad, rapidez, confiabilidad, etc.

Figura 7

Estructura básica de un sistema ciber – físico.



Nota. La figura muestra la relación existente entre control, comunicación y computación en los SCF.

Al ser la parte física que compone el sistema, un mecanismo que puede ser móvil o estar ubicada en lugares remotos (proceso industrial); es necesaria la implementación de canales de comunicación alámbrica remota o inalámbrica, para que el sistema físico pueda ser controlado mediante el algoritmo de control que constituye la parte virtual del SCF.

Internet de las cosas

Internet de las Cosas (IoT) es una infraestructura que conecta dispositivos y sistemas en la nube para compartir, almacenar y analizar información. Para ello, integra plataformas de almacenamiento, canales de comunicación y dispositivos que satisfagan las necesidades de los usuarios y den paso a la digitalización.

La arquitectura IoT integra tres capas: la capa de precepción en la cual se encuentran los detectores, actuadores, transmisores, etc. que en conjunto pueden denominarse nodos sensores; la capa de transporte que hace referencia a todos los medios de comunicación entre los dispositivos iniciadores y los de control del sistema y, finalmente, la capa de aplicación en la cual se encuentran inmersos los controladores y dispositivos de tratamiento de información (Chuchico Arcos, 2021).

Intranet de las cosas

Como una parte del IoT está la intranet de las cosas, el concepto se basa en el mismo principio; hacer que sensores, actuadores, dispositivos en general, canales de comunicación, etc. trabajen en conjunto utilizando diferentes configuraciones de conexiones conocidas como topologías de red, a fin de manejar datos de manera precisa y consistente. A diferencia del IoT, la intranet de las cosas evita el uso de la nube para el almacenamiento de la información obtenida de los procesos; más bien, se trata de una red local cuyo acceso está restringido para cualquier usuario u objeto que no pertenezca al sistema. En otras palabras, IoT es una red abierta mientras que la intranet es una red interna.

Topologías de red

Las topologías de red hacen referencia a la manera en la que se interconectan los dispositivos de una red de comunicaciones, a fin de intercambiar información entre sí. Existen dos grandes grupos de topologías clasificadas por su tipo de conexión; el primer grupo corresponde a las topologías con conexión punto a punto en las cuales todos los elementos de la red están relacionados entre sí; y un segundo grupo con conexión multipunto también conocidas como punto a multipunto en las que no necesariamente todos los dispositivos o nodos están conectados entre sí, pero comparten un mismo medio de transmisión. La tabla 1 muestra una comparativa entre los tipos de topologías existentes.

Tabla 1

Topologías de red

Topología	Bus	Anillo	Estrella	Malla	Árbol
Definición	Todos los dispositivos están conectados a la misma línea	Todos los nodos están conectados formando un círculo	Cada nodo está conectado al nodo central	Todos los nodos se conectan entre sí	Conexión que asemeja la forma de un árbol
Conexión	Multipunto	Punto a punto	Multipunto	Punto a punto	Punto a punto
Cableado requerido	Fibra óptica	Fibra óptica	Par trenzado	Fibra óptica / par trenzado	Par trenzado
Costo	Bajo	Medio	Medio	Alto	Bajo

Nota. La tabla muestra las características relevantes de las topologías de red más conocidas.

Comunicaciones inalámbricas

Este tipo de canales de comunicación proporcionan el intercambio de información sin la necesidad de cables. Las tecnologías inalámbricas son utilizadas principalmente en lugares donde es un gran problema llegar con soluciones por cable, así como también en lugares

peligrosos. La Tabla 2 muestra la comparativa entre las tecnologías de comunicación inalámbrica existentes.

Tabla 2

Tecnologías y redes inalámbricas

N°	Red	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN	LPWAN
1	Estándares	Bluetooth Zigbee	802.11/WiFi	802.16	GSM	LoRa
2	Velocidad	< 1 Mb	2 – 110 Mb	> 22 Mb	< 14 Mb	50 Kb
3	Distancia	Corta	Media	Media - Larga	Larga	Larga

Nota. La tabla muestra las características relevantes de las tecnologías de Redes Inalámbricas.

Los criterios que permiten decidir cuál de las tecnologías utilizar se relacionan con el costo, consumo de energía, seguridad y disponibilidad; por ejemplo, las Wireless Local Area Network (WLAN) se utilizan dentro de áreas restringidas en las que se requiere de la transmisión de datos a altas velocidades. Dentro de las tecnologías WLAN podemos encontrar:

- WiFi: es una especificación industrial para redes inalámbricas WLAN, es uno de los canales de comunicación más utilizados dada su gran velocidad (1 Mbps – 100 Mbps) y la gran distancia de comunicación que abarca.

Por otro lado, con las Wireless Personal Area Network (WPAN) las aplicaciones no se limitan a las transmisiones de datos, sino también a las transmisiones de voz. Entre los tipos de tecnologías WPAN se encuentran:

- Bluetooth: la tecnología bluetooth ha evolucionado en miras de la Industria 4.0 siendo una especificación de WPAN. Entre sus características principales de tiene una distancia de

comunicación de 10 m con línea de vista y de manera estándar son 8 los componentes de red que admite (1 servidor y 7 clientes).

- Zigbee: Se trata de una tecnología de bajo costo y consumo, soporta velocidades bajas de transmisión durante ciclos cortos (a nivel de los kbps) y tiene un rango de transmisión estandarizado de 10 m con una frecuencia de 2.4 GHz

Las Low Power Wide Area Network (LPWAN) son redes que abarca un área amplia que se caracterizan por su bajo consumo de energía y el uso de topologías tipo estrella para la interconexión de dispositivos. Entre las tecnologías más conocidas que forman parte de las LPWAN, están:

- LoRa: esta tecnología de comunicaciones inalámbricas de bajo consumo de energía que permite que los dispositivos que la utilizan prolonguen la duración de sus baterías. Utiliza la topología tipo estrella para la conexión de dispositivos y se considera una de las redes inalámbricas más seguras.
- Sigfox: es una red de comunicaciones de bajo consumo de energía que trabaja a bajas velocidades de transmisión.

Finalmente, las Wireless Neighborhood Area Network (WMAN) están direccionadas para proporcionar una cobertura bastante amplia por lo cual la utilizan empresas que prestan servicios y; las Wireless Wide Area Network (WWAN) es una red que requiere del uso de tecnologías que usan infraestructura ampliada, son las más utilizadas a nivel mundial y cuenta con más de 2 billones de usuarios.

Capítulo III

Diseño del SCF

El diseño del SCF se puede evidenciar en la figura 8, el mismo consta de 3 etapas claramente identificadas. La primera etapa consiste en un sistema / dispositivo de recepción láser denominado nodo sensor, la segunda etapa es el medio de comunicación y la tercera etapa contempla el tratamiento de la información. La tercera etapa además de permitir la visualización de datos a través de una HMI, contempla la creación de la base de datos local, esto a fin de tener un registro de las prácticas desarrolladas.

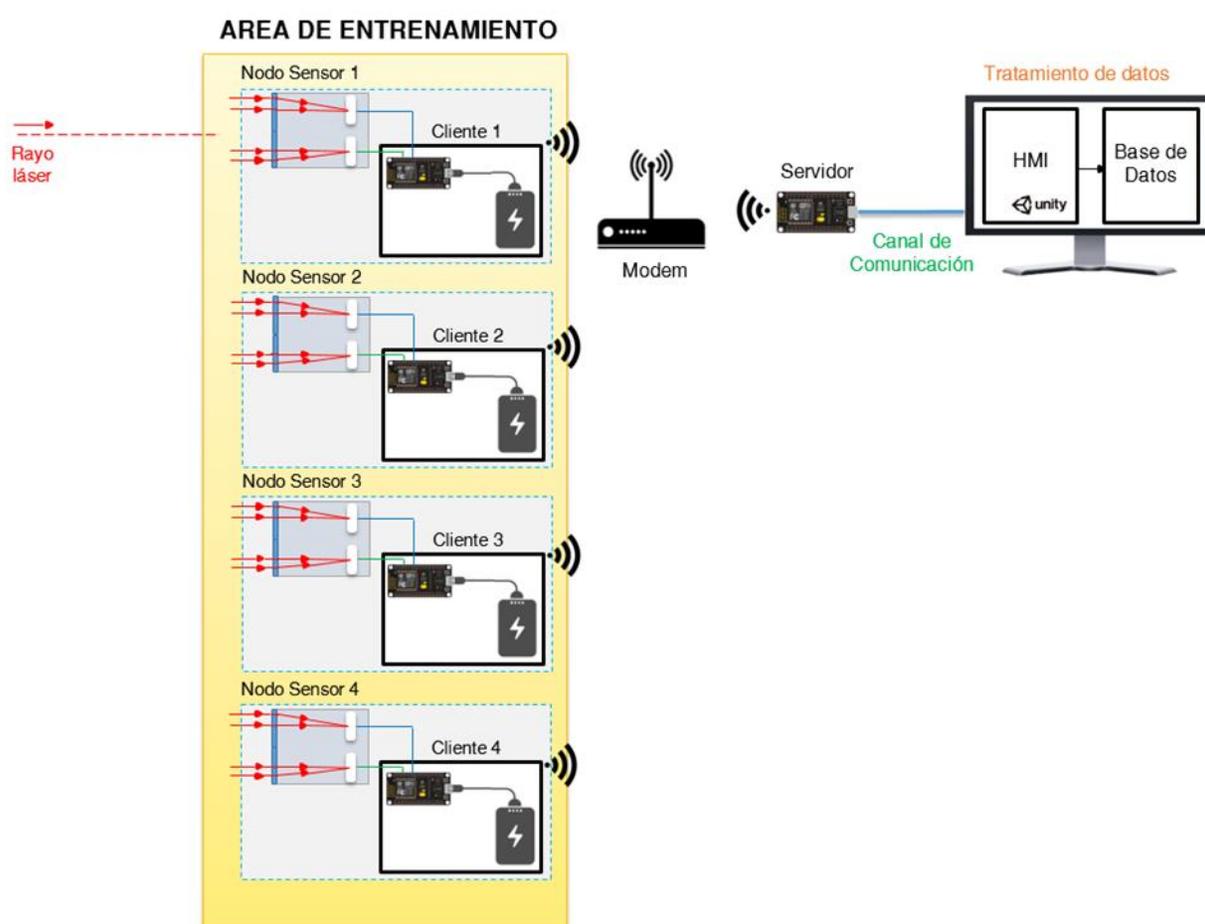
Para el diseño del nodo sensor se contempla una red servidor – cliente formada por módulos ESP8266. La arquitectura servidor – cliente funciona de manera similar a la configuración servidor – cliente; en la cual los clientes se encuentran conectados a un servidor que centraliza recursos que estarán disponibles para cualquier cliente cuando se solicite. La ventaja más representativa de utilizar este tipo de arquitectura es la escalabilidad que proporciona, es decir, tanto servidores como clientes pueden ser incrementados en la misma red y realizar las mismas o distintas funciones de acuerdo a la aplicación para la que se requiera. Además, el reemplazo y/o reparación de cualquier elemento de la red no afecta a todo el sistema sino más bien solo al elemento reemplazado/reparado dado que se utiliza una topología tipo estrella, facilitando las tareas de mantenimiento de la red.

Los módulos clientes reciben el disparo láser efectuado por un fusil adaptado con un rayo láser. Posterior a esto, envían la información hacia un módulo configurado como servidor, el cual se comunica con la interfaz de visualización para la observación de la información

receptada. Finalmente, el sistema computacional genera una base de datos local a fin de mantener un registro de las prácticas realizadas.

Figura 8

Diseño del sistema ciber – físico.



Nota. En SCF diseñado consta de 4 nodos sensores que envían la información receptada hacia una tarjeta de adquisición de datos en una arquitectura servidor – cliente.

Especificaciones del diseño

Las especificaciones de diseño para el SCF se basan en la comparativa entre las características principales de elementos que se pueden encontrar en el mercado, cuyo funcionamiento garantice la vida útil del sistema y a su vez permitan un mantenimiento efectivo y reemplazo de dispositivos averiados con gran facilidad. De este modo, para el diseño del SCF se consideran las especificaciones de hardware y software para los elementos principales del sistema; es decir, tanto para la recepción del disparo láser y cuantificación de impactos alcanzados en la silueta de entrenamiento, así como para la actualización y tratamiento de la información generada en cada una de las prácticas efectuadas en el polígono de tiro láser de la Brigada "Patria". De este modo, se considera principalmente la elección del elemento primario (sensor), placa electrónica de desarrollo y software de tratamiento de información.

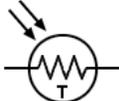
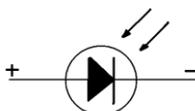
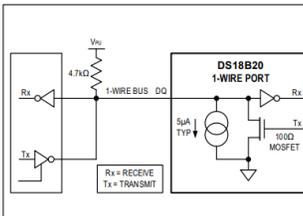
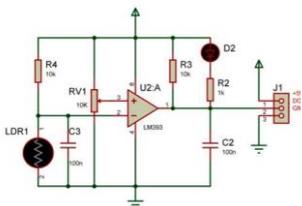
Elemento primario

El elemento primario también conocido como sensor, es el encargado de medir o detectar la variable física del proceso y transformarla en una señal eléctrica. En la elección del elemento primario para la detección del rayo láser, se realizó una comparativa entre las características principales de sensores de láser o luz, considerando para la aplicación para la que se requieren, entre opciones existentes de sensores de luz en el mercado se encuentran los elementos que se muestran en la tabla 3.

Esta comparativa entre los dispositivos electrónicos disponibles en el mercado, se realiza con el objetivo de ajustar el elemento primario a las necesidades de precisión y exactitud en la medida, que requiere el polígono de entrenamiento, así como también para garantizar el tiempo de vida útil del SCF.

Tabla 3

Distribución de pines del módulo LDR LM393

N°	ELEMENTO	FIGURA	SÍMBOLO / CIRCUITO	CARACTERÍSTICAS
1	Fotoresistencia (LDR)			Voltaje de operación: 3.3 V. Cobertura: únicamente en el punto del sensor.
2	Fotodiodo			Voltaje de operación: 3.3 V. Cobertura: únicamente en el punto del sensor.
3	Módulo de sensor láser para arduino			Voltaje de operación: 3.3 V. Cobertura: únicamente en el punto del sensor. Funcionamiento: variación de resistencia proporcional a la variación de la luz que recibe. Pines: salida digital. Temperatura de operación: -55 – 155 °C
4	Módulo fotoresistivo LDR			Voltaje de operación: 3.3 V. Cobertura: 0 – 180° en apertura al punto del sensor. Funcionamiento: módulo receptor láser. En presencia de luz HO: 5 V, sin luz LO: 0V. Pines: salidas analógica y digital. Temperatura de operación: -35 – 70 °C

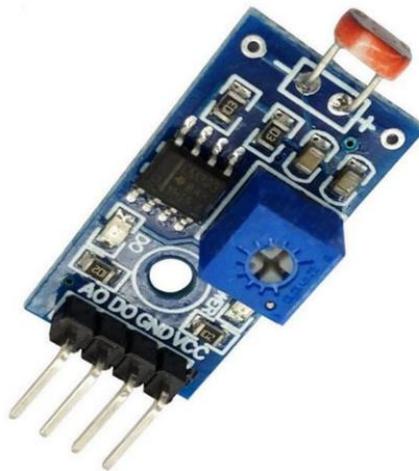
Nota. La tabla muestra las características principales de 4 dispositivos para la elección del elemento primario del nodo de recepción láser.

En base a la tabla 3, el módulo fotoresistivo LDR, resulta ser la mejor opción para la detección del rayo láser debido a sus características, esencialmente a la cobertura de sensado que posee, puesto que esto permite una detección del disparo más fiable. El módulo LDR

LM393 que se muestra en la figura 9, también llamado módulo fotoresistivo, basa su funcionamiento en la proporcionalidad inversa entre la luz y la resistencia; es decir, a mayor luz (I_x), menos ohmios (Ω). Se trata de un integrado desarrollado por Texas Instruments adaptado en una PBC en conjunto con una fotoresistencia y elementos electrónicos que permiten el ajuste de sensibilidad en cuanto.

Figura 9

Módulo fotoresistivo LM393



Nota. la gráfica muestra el módulo fotoresistivo LM393 desarrollado por Texas Instruments. Tomado de: (Texas Instruments, 2018).

Para el manejo adecuado de las señales de entrada y salida del módulo LDR, es indispensable conocer su distribución de pines, así como también los pines de alimentación de este con el fin de evitar desperfectos. La tabla 4 muestra la distribución y funcionalidad de cada uno de estos pines.

Tabla 4

Distribución de pines del módulo LDR LM393

N°	PIN	Función
1	A0	Salida Analógica
2	D0	Salida Digital
3	GND	Tierra
4	VCC	Alimentación

Nota. La tabla muestra los tags y funcionalidades de cada uno de los pines del módulo LM393.

Tomado de: (Texas Instruments, 2018).

Placa de desarrollo

El desarrollo de la tecnología ha permitido la creación de distintas placas electrónicas cuya finalidad es no solo adquirir datos de variables de un proceso, sino también controlarlos y transferir información bajo distintos estándares. La elección de la placa electrónica para el diseño del SCF es de suma importancia puesto que la capacidad de la misma permitirá abarcar a los dispositivos que actúen como clientes y a su vez recibir todas las señales pertinentes para la captación del disparo láser.

Por otro lado, las características de comunicación que posean las tarjetas son esenciales para la implementación de un polígono de tiro láser versátil, siendo la comunicación inalámbrica de vital importancia para el intercambio de información entre clientes y servidores, de este modo se puede cambiar el escenario de práctica y así, no volver monótono el entrenamiento que realice el personal.

Las placas electrónicas disponibles y que más se ajustan al objetivo del polígono de tiro láser se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Comparativa entre placas de desarrollo.

Placas	Arduino	ESP32	ESP8266
Voltaje Fuente de alimentación	5V 7V – 12V	3.3V 2.5V – 12V	3.3V 2.5V – 12V
Pines I/O digitales	54 (Arduino MEGA R3)	36 (NodeMCU)	11 -13 (NodeMCU)
Pines analógicos	5 -15	1 -2	1 -2
Velocidad de reloj	16 MHz	52 – 160 MHz	80 MHz
Comunicación inalámbrica	No	Todas sus versiones	Todas sus versiones
Memoria flash	32 KB	4 MB	4 MB
Conexión USB	Si	Si	Si
Corriente de consumo	23 μ A con ajustes	5 μ A con ajustes	0.5 μ A con ajustes

Nota. La tabla muestra una comparativa entre 3 microcontroladores cuyas capacidades se ajustan a las requeridas para el diseño del nodo sensor.

De acuerdo a lo especificado en la tabla 5, dado a que el sistema se alimenta a base de baterías, el consumo de energía de arduino será más elevado que el de los microcontroladores ESP. Por otro lado, es importante mencionar que uno de los requerimientos claves para el polígono de tiro láser es la existencia de comunicación inalámbrica, siendo este otro punto desfavorable para Arduino en todas sus versiones. Las características entre las placas ESP32 y ESP8266 son bastante similares y sus prestaciones igual, puesto que poseen el mismo número de pines analógicos, ofrecen la capacidad de comunicación inalámbrica bajo distintos estándares no mencionados en la tabla 4, también permiten conectar dispositivos de forma alámbrica, los voltajes de trabajo y fuente son los mismos, etc. Sin embargo, al tomar en cuenta

que la alimentación de los microcontroladores se realizará con baterías, la corriente de consumo de la ESP32 es mucho más elevada y por lo tanto disminuye el tiempo de vida útil del sistema. Bajo las consideraciones expuestas en párrafos anteriores, el microcontrolador ESP8266 resulta ser la mejor opción para la aplicación en cuestión, ya que es más eficiente que arduino en muchos aspectos y debido a que permite alargar el tiempo de vida útil del sistema en general por el bajo consumo de corriente que tiene. Se debe tener en cuenta que el análisis realizado toma las mejores características de todas las versiones existentes de estas placas. El módulo ESP8266 es una MCU Wi-Fi compatible con el protocolo TCP/IP. Este microcontrolador de bajo consumo fue desarrollado por Espressy Systems. Es de fácil programación, se pueden realizar varias aplicaciones únicamente con el IDE de Arduino y aplicaciones más avanzadas con varios lenguajes compatibles. Las características fundamentales de este módulo se presentan en la tabla 6.

Tabla 6

Características del microcontrolador ESP8266

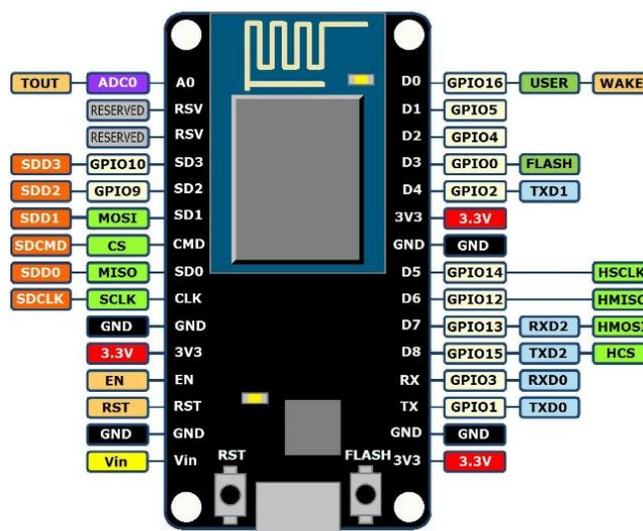
N°	Microcontrolador	ESP8266
1	CPU	L106 – 32 bits
2	Protocolos	IPV4, TCP/UDP/HTTP
3	Comunicación	SPI,I2C, I2S, UART, SDIO
4	Pines	16 GPIO 3 SPI 4 HSPI

Nota. La tabla muestra las características principales del microcontrolador ESP8266 cuyas capacidades se ajustan a las requeridas para el diseño del nodo sensor. Tomado de: (Espressif, 2022).

En el mercado existen una gran variedad de microcontroladores ESP8266 montados sobre diferentes PCB, que difieren en el número y disposición de pines, integración de antena, etc. La figura 10 muestra la placa ESP8266 NodeMCU, la cual es una placa bastante completa que está diseñada para trabajar de manera autónoma. Este microcontrolador integra un puerto Micro USB para alimentación y programación. (Espressif, 2022)

Figura 10

ESP8266 NodeMCU



Nota. la gráfica muestra la distribución de pines del módulo ESP8266 NodeMCU.

Software de diseño de HMI

Al igual que con los dispositivos físicos, para el desarrollo de aplicaciones y HMI de interacción con usuarios existen varias opciones, de las cuales se han considerado las más

adecuadas para el desarrollo de la interfaz de interacción con el practicante del polígono de tiro, y se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Comparativa entre softwares de diseño HMI.

Software	Unity3D	Unreal engine
Lenguaje de programación	C#	C++
Gráficos	Tecnología PBR o GI	Gráficos con mejor definición
Material de edición	No	Si
Asset store	Gran variedad de activos gratis	Muchos de los activos tienen costo

Nota. La tabla muestra una comparativa entre 2 de los motores gráficos más utilizados para creación de escenarios interactivos a nivel mundial.

Tomando en consideración la información provista en la tabla 7, en cuanto al lenguaje de programación que utilizan los motores gráficos expuestos, C# es un lenguaje de programación más sencillo de usar y aprender. Además, la tecnología que ofrece Unity en sus gráficos hace que los entornos que se creen se asemejen a la realidad, haciendo del HMI más interactivo. Por lo tanto, la mejor opción para el desarrollo de la pantalla de visualización de datos de las prácticas de tiro es el motor gráfico Unity3D.

El motor gráfico Unity3D se creó inicialmente con el fin de desarrollar contenido interactivo en tiempo real, específicamente video juegos. Sin embargo, con el avance de la tecnología y el deseo de crear ambientes de interacción Humano – máquina, Unity3D se ha

enfocado en la recreación de escenarios realistas para la industria, el cine, la ingeniería, el campo militar, etc.

Además de ofrecer capacidades robustas para crear contenido audiovisual, interactivo y realista; la tecnología de desarrollo de Unity3D permite la comunicación e implementación en varios dispositivos como teléfonos móviles, computadores e instrumentos de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR), mediante la utilización de programación en C#.

Diseño del nodo sensor de recepción láser

La primera etapa del SCF cumple la función de detectar el disparo láser efectuado durante la práctica de tiro. Para el diseño del nodo sensor se consideró una única lámina de papel calco fabricado con fibras de celulosa, lo cual permite la transmisión parcial de la luz. El papel calco realiza la función de dirigir la luz incidente hacia el interior de un contenedor sellado. Esta lámina recepta y dispersa la luz proveniente del láser hacia dos puntos focales ubicados en dos módulos LDR respectivamente.

Los módulos LDR están configurados de tal manera que captan con gran precisión el rayo láser emitido. Posterior a esto, transmiten la señal hacia una tarjeta de adquisición de datos para el tratamiento de la información. Finalmente, mediante una configuración servidor – cliente, la tarjeta de adquisición de datos que recepta la señal de los módulos LDR, envía estos datos hacia una tarjeta master generando una red LAN.

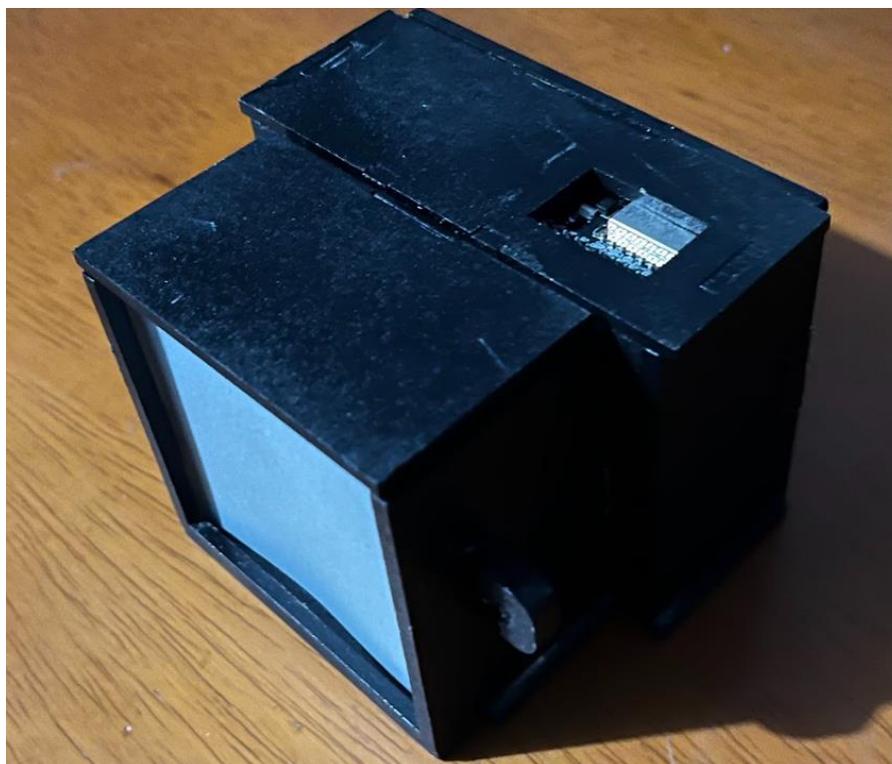
Diseño y construcción del nodo sensor

Una vez determinados los dispositivos de recepción láser, la estructura sellada donde se van a agrupar se diseñó en Autocad, como se puede observar en la figura 11. En el diseño se consideran dos estructuras del tipo cubo que albergan la electrónica del nodo sensor. El

porqué de dos estructuras se debe a que la primera estructura debe estar completamente sellada, esto debido a que los módulos LDR emiten una señal al detectar un cambio de luminosidad. Es por ello que, las entradas de luz exterior pueden provocar falsas señales. Mientras que la segunda estructura contiene la placa electrónica.

Figura 11

Diseño de la estructura del nodo sensor



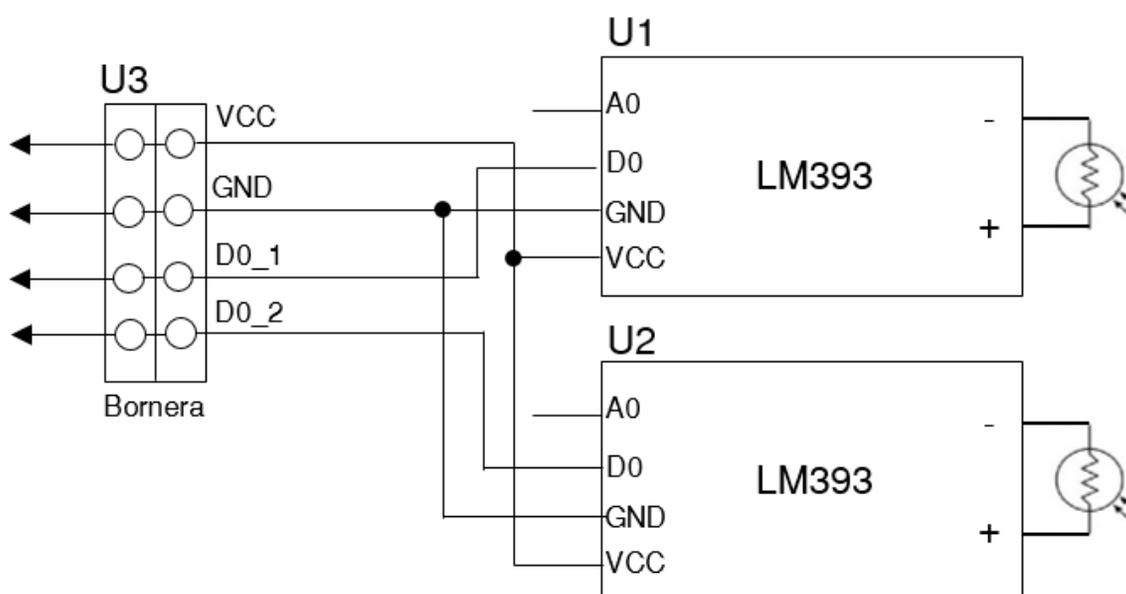
Nota. La figura muestra la estructura de la caja que contiene en nodo sensor.

En la primera estructura se integran 2 los módulos LDR ubicados en el centro del área de censado, y borneras de conexión que permiten el envío de la señal captada y la alimentación del dispositivo, como se muestra en el diagrama esquemático de la figura 12. La

elección de los 2 módulos se realizó mediante un análisis de prueba/error, generando un sistema redundante en el cual, si uno de los módulos no llegase a detectar el haz de luz generado por el arma láser, el segundo módulo es capaz de hacerlo.

Figura 12

Diagrama esquemático del nodo sensor – primera estructura



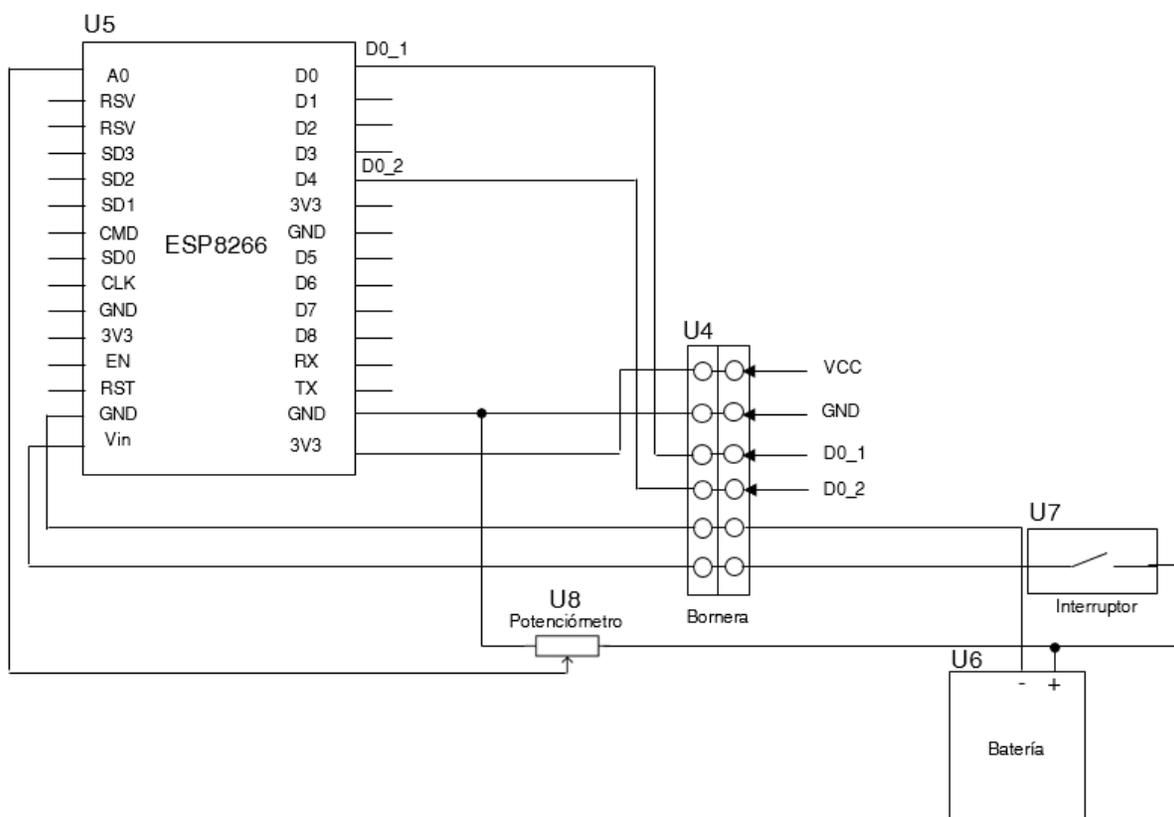
Nota. La figura muestra el diagrama esquemático de la conexión de los módulos LM393 del nodo sensor.

La segunda estructura que se visualiza en la figura 13, contiene el módulo ESP8266 cliente, el cual alimenta a los módulos LDR con 3.3 V y recibe la señal de sensado; la fuente de alimentación denominada power bank, que proporciona 5 V de alimentación al microcontrolador. Además, contiene un interruptor que cumple la función de apagar o encender

el nodo sensor al permitir el paso de corriente desde la fuente de alimentación hacia la tarjeta electrónica. Finalmente, la segunda estructura contiene un potenciómetro, cuya función es el permitir e escalamiento del porcentaje de la batería para su correcta visualización en el HMI generado.

Figura 13

Diagrama esquemático del nodo sensor – segunda parte.

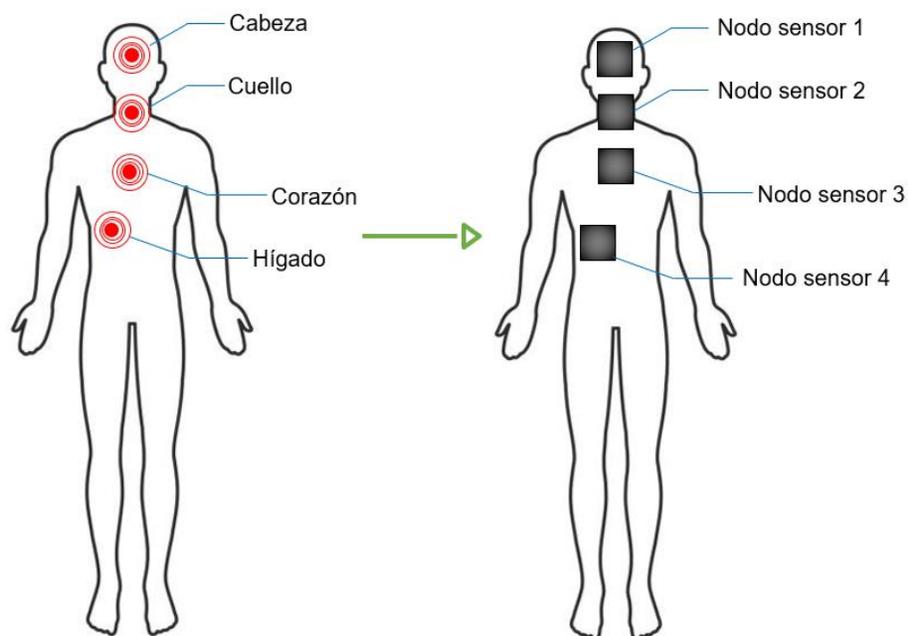


Nota. La figura muestra el diagrama esquemático de la segunda estructura del nodo sensor, que contiene el módulo ESP8266, la fuente de alimentación y dispositivos electrónicos para el correcto funcionamiento del sistema.

En los polígonos de tiro láser es común ver blancos en forma de siluetas para aumentar el realismo en la práctica, sin embargo, también se pueden adaptar a estos blancos de anillos adaptados con un receptor láser. Por otro lado, los poppers mencionados en párrafos anteriores no son de uso común en estas áreas de entrenamiento debido al material del que están hechos, puesto que el acero no permite la fácil adaptación de los detectores en los blancos. Para la ubicación de los nodos sensores en las siluetas de entrenamiento se han considerado 4 puntos letales: cabeza, cuello, corazón e hígado. Estos blancos de disparo se pueden visualizar en la figura 14.

Figura 14

Blancos de disparo



Nota. La figura muestra los 4 puntos letales considerados para la ubicación de los sensores de recepción láser.

Implementación de la plataforma IoT

La plataforma IoT abarca la unión de hardware (sensores, módulos, placas electrónicas, tarjetas de adquisición de datos) y software en un solo sistema. En la implementación de la plataforma intranet se genera una LAN para establecer la comunicación bidireccional entre las tarjetas ESP8266. Mientras que para la comunicación entre el módulo servidor y, el HMI que permite la supervisión remota de los dispositivos, se considera la interfaz UART que tiene inmersa dicha tarjeta. La interfaz UART, mediante un adaptador USB, permite la conexión directa del ESP8266 con el software Unity3D donde se implementa el HMI para la visualización de las prácticas realizadas por el personal militar.

Configuración servidor – cliente utilizando ESP8266

En la comunicación entre el módulo servidor y los módulos clientes se genera una red LAN que, mediante el uso del protocolo TCP/IP que tienen integrado estos microcontroladores y un módem logra que intercambien datos como si se tratara de una comunicación maestro – esclavo; siendo el maestro el microcontrolador servidor y los esclavos cada uno de los nodos sensores.

Para la recepción de datos mediante la configuración servidor – cliente, el microcontrolador ESP8266 servidor debe configurarse como servidor con una dirección IP fija. Para ello, mediante el uso de los comandos arp-a e ipconfig digitados en el CMD se especifican 5 direcciones IP que no estén en uso; una IP para el servidor y 4 direcciones IP para los 4 clientes. Además; se establece la dirección IP de la puerta de enlace o gateway y la IP de la subred. ARP muestra las IP en uso, la IP de la puerta de enlace y si es de direccionamiento fijo o dinámico. Mientras que; ipconfig permite observar la configuración de la red. De este modo,

en la tabla 8 se establecen las direcciones de los clientes y el servidor único para la comunicación servidor – cliente.

Tabla 8

Direcciones IP para la configuración del servidor.

N°	Descripción	Direcciones IP
1	IP – servidor	192.168.101.10
2	IP – cliente 1	192.168.101.11
3	IP – cliente 2	192.168.101.12
4	IP – cliente 3	192.168.101.13
5	IP – cliente 4	192.168.101.14
6	Gateway	192.168.101.1
7	Subnet	255.255.255.0

Nota. La tabla muestra las direcciones IP necesarias para establecer la configuración servidor – cliente entre las tarjetas ESP8266.

Con el establecimiento de las direcciones IP de los clientes y la dirección IP correspondiente al microcontrolador servidor se define la forma en la que se van a comunicar los microcontroladores y la función de los mismos dentro de la red de envío y recepción de información. Además, de esta manera se puede identificar a qué módulo corresponde la información recibida por el servidor para establecer qué punto letal fue alcanzado por un tiro realizado durante la práctica.

El microcontrolador ESP8266, además de las características mencionadas en párrafos anteriores, es de fácil configuración. La programación de esta placa electrónica se realiza mediante la plataforma de arduino; para lograr la comunicación entre las tarjetas servidor y cliente primero se inicializan las direcciones obtenidas y mediante las funciones `WifiServer()` y

WifiClient, se crea en el puerto 80 el servidor que envía y recibe datos de todos los clientes que se conecten a la red como se puede observar en la figura 15.

Figura 15

Conexión entre las tarjetas ESP8266 en configuración servidor – cliente.

The image shows two Arduino IDE windows side-by-side. The left window is titled 'Maestro Arduino 1.8.13' and contains code for a master device. The right window is titled 'Esclavo1 Arduino 1.8.13' and contains code for a slave device. A central 'COM5' window displays the serial output, showing the master connecting to the slave's IP address: '.....Master connected to WiFi! IP address : http://192.168.101.10'. The code in both windows includes WiFi configuration, IP addresses (192.168.101.10 for the master and 192.168.101.11 for the slave), and a server/client setup on port 80. The COM5 window also shows a series of IP addresses in hexadecimal format (0:0:0:0:0:0:0:0).

Nota. La figura muestra el enlace entre el cliente ESP8266 – cliente 1 cuya IP es 192.168.101.11 y el servidor ESP8266 – servidor con dirección IP 192.168.101.10.

Los microcontroladores clientes son los encargados de leer la señal enviada por los dos sensores LDR cuando se detecta un disparo, mediante los puertos de entrada y salida GPIO2 para el primer módulo y GPIO16 para el segundo módulo. Los datos obtenidos de los módulos son enviados al microprocesador servidor junto con el porcentaje de la batería, proporcionado por la salida analógica A0.

Comunicación ESP8266 – Unity 3D

Para el intercambio de información bidireccional entre Unity3D y el microcontrolador servidor ESP8266, se hace uso del protocolo de comunicación serial. Como se observa en la figura 16, el módulo ESP8266 y Unity3D se conectan mediante el IDE de Arduino y la plataforma de programación integrada Visual Studio. Para dar inicio al envío y/o recepción de datos, inicialmente se debe establecer el puerto serial y la velocidad de transmisión de datos. Los datos intercambiados viajan a través del medio de comunicación como una trama de datos a una velocidad de 115200 baudios.

Figura 16

Comunicación serial Unity3D - ESP8266



Nota. La gráfica muestra la distribución de pines del módulo ESP8266 NodeMCU.

Los datos enviados y desde el microcontrolador servidor hacia el motor gráfico Unity3D de devueltos por este, son del tipo String, y se encuentran identificados con los tags de la tabla 9. Para desentramar la trama de texto recibida y convertir la línea de texto en valores enteros, Unity3D utiliza los siguientes caracteres:

- Dos puntos (:)

- Espacio en blanco (“ ”)
- Final de trama: salto de línea: (“\n”)

Tabla 9

Datos enviados y/o recibidos Unity3D - ESP8266

N°	Tag	Descripción	Trama de datos Enviados	Trama de datos Recibidos
1	1E1-1	Señal del módulo LDR del cliente 1	1E1-1:1E1-2	
2	1E1-2	Porcentaje de batería del cliente 1		
3	1E2-1	Señal del módulo LDR del cliente 2	1E2-1:1E2-2	
4	1E2-2	Porcentaje de batería del cliente 2		
5	1E3-1	Señal del módulo LDR del cliente 3	1E3-1:1E3-2	
6	1E3-2	Porcentaje de batería del cliente 3		
7	1E4-1	Señal del módulo LDR del cliente 4	1E4-1:1E4-2	
8	1E4-2	Porcentaje de batería del cliente 4		
9	start	Inicio de conteo		start

Nota. La tabla muestra los tags de identificación de señales de disparo láser y porcentajes de baterías de cada microcontrolador cliente enviados/recibidos como una trama de datos.

Creación de base de datos

Para la gestión de la información obtenida se desarrolló una base de datos local que almacena los mismos en un archivo de texto. Esta base de datos se ubica a conveniencia del usuario en la computadora que forma parte del sistema de entrenamiento. Para la recolección de datos en el archivo de texto, se añade en la pantalla principal del HMI un campo de escritura, el cual permite colocar la dirección del archivo que contendrá los datos de la práctica de tiro. Con la ayuda de la plataforma de programación Visual Studio y mediante las funciones TMP_InputField y path, se obtiene la dirección del archivo, ingresada por el usuario.

Posterior a esto, para la escritura de los datos: número de práctica, fecha y hora, número de impactos y el porcentaje de tiros alcanzados en cada uno de los puntos letales, en la base local; se utiliza las funciones StreamWriter y WriteLine, la primera función busca el archivo de texto según la ubicación proporcionada por el usuario para escribir sobre él y WriteLine escribe los datos. Hay que tener en cuenta que estas funciones deben estar ligadas a las acciones que se realicen en las pantallas principales, puesto que cuando se termine una práctica, los datos deben ser almacenados y al iniciar una nueva práctica los datos anteriores deben permanecer acumulados y la información reciente debe incrementarse en la base de datos.

El HMI posee el botón “Inicio de Práctica”, que al ser pulsado y mediante el uso de la función StreamReader, lee todas las filas de datos existentes de prácticas anteriores en el archivo de texto y con ayuda de un contador, se aumenta una fila para la posterior escritura de la nueva fila de datos. Finalmente, este reporte generado es obtenido mediante el botón “Consultar” inmerso en la tercera pantalla del HMI.

Desarrollo del HMI

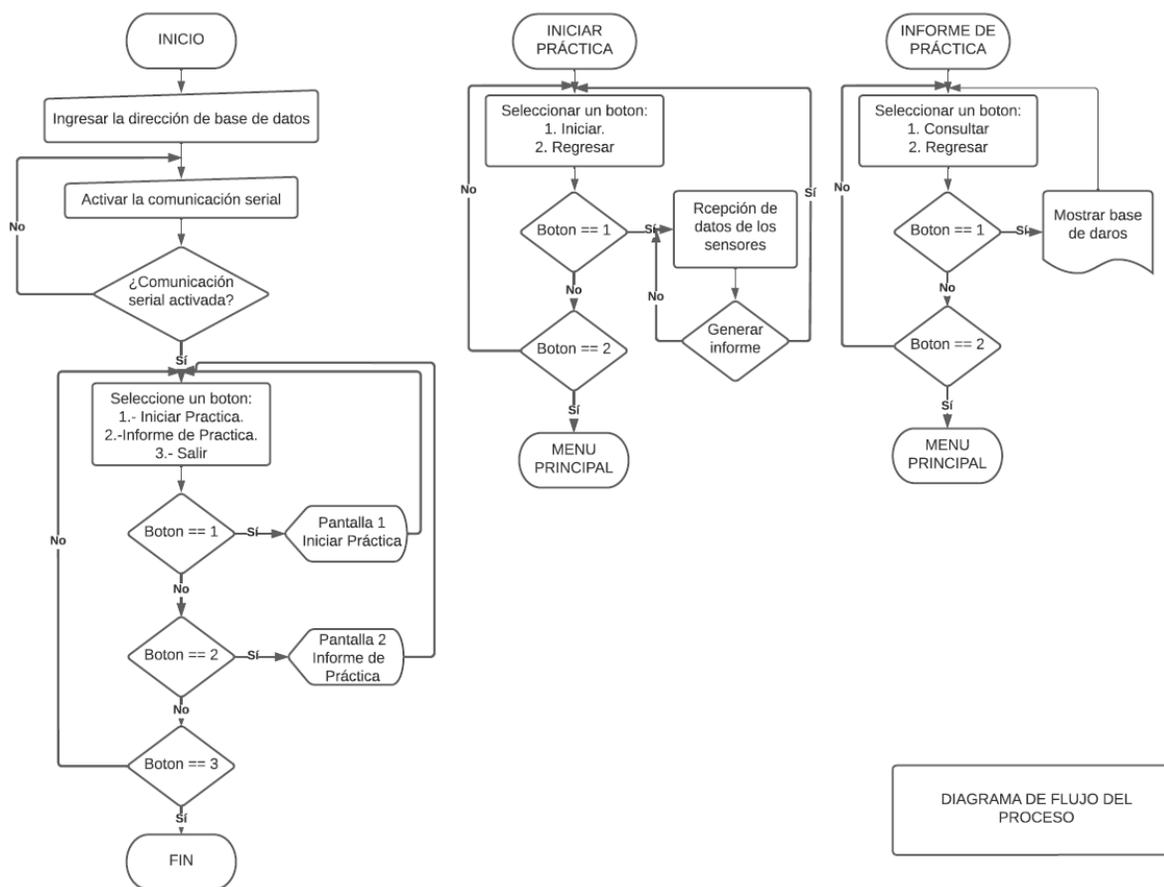
La creación de pantallas interacción humano – máquina en este tipo de sistemas virtualizados, es de suma importancia; puesto que le permite al usuario visualizar una imagen dinámica de lo que sucede en el campo de entrenamiento en tiempo real.

Para la visualización de los disparos realizados durante las prácticas de tiro, se desarrolló una HMI en el motor gráfico Unity3D. Unity3D al ser diseñado para la creación de videojuegos permite la creación de una HMI amigable con el usuario y con características propias de polígonos de entrenamiento reales. Para el desarrollo del HMI del polígono de tiro

láser de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9 “Patria”, se considera el diagrama de flujo que se presenta en la figura 17. En este diagrama, se especifica paso a paso el proceso a seguir para el desarrollo correcto de una práctica de tiro y posterior almacenamiento y tratamiento de información dentro de la base de datos del sistema.

Figura 17

Diagrama de flujo de la metodología utilizada para el desarrollo del HMI.

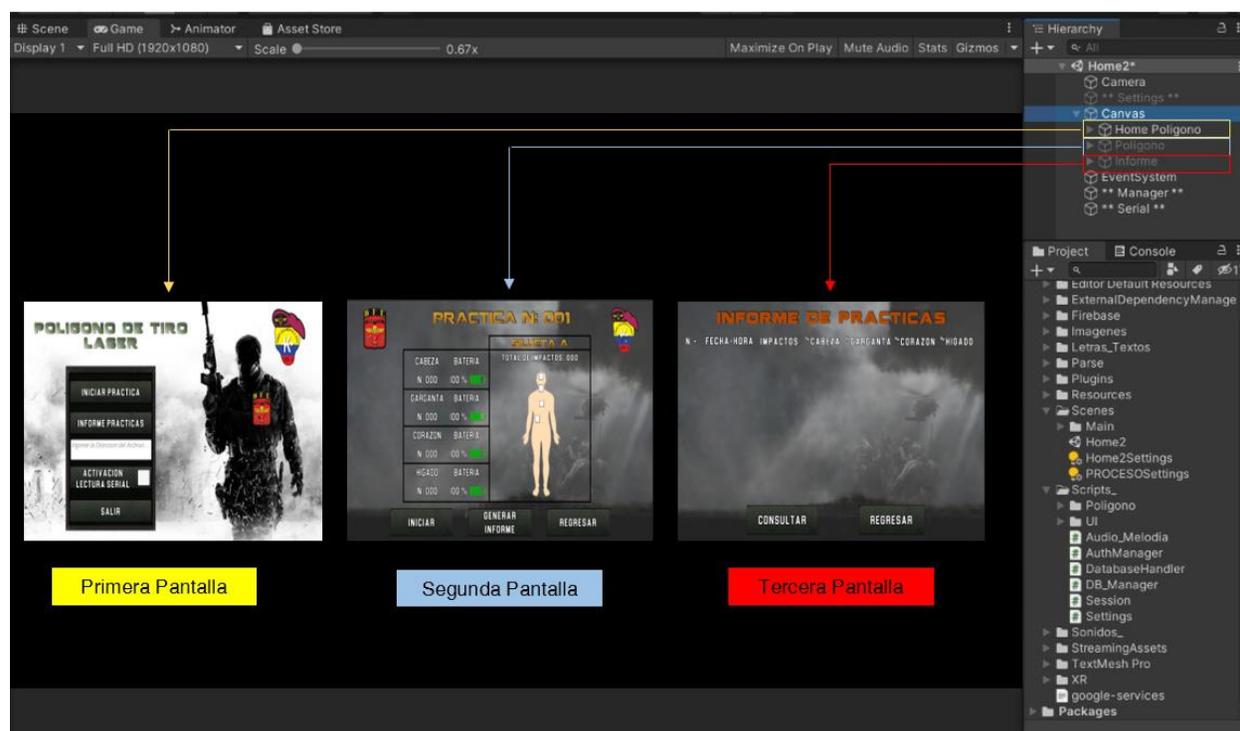


Nota. La figura muestra el diagrama de flujo del HMI desarrollado para la interacción con el practicante.

Para la visualización de los datos obtenidos de las prácticas de tiro se contemplan 3 pantallas gráficas; estas pantallas fueron creadas en el software de desarrollo de entornos virtuales Unity 3D como se puede observar en la figura 18. La distribución de las pantallas se da de la siguiente manera: la primera pantalla llamada también pantalla principal o pantalla de inicio de entrenamiento, la segunda pantalla es la denominada pantalla de prácticas donde se visualizan los impactos y la tercera pantalla que corresponde a la visualización del informe de las prácticas de tiro realizadas por el personal en entrenamiento.

Figura 18

Pantallas de visualización de prácticas de tiro en el polígono láser.

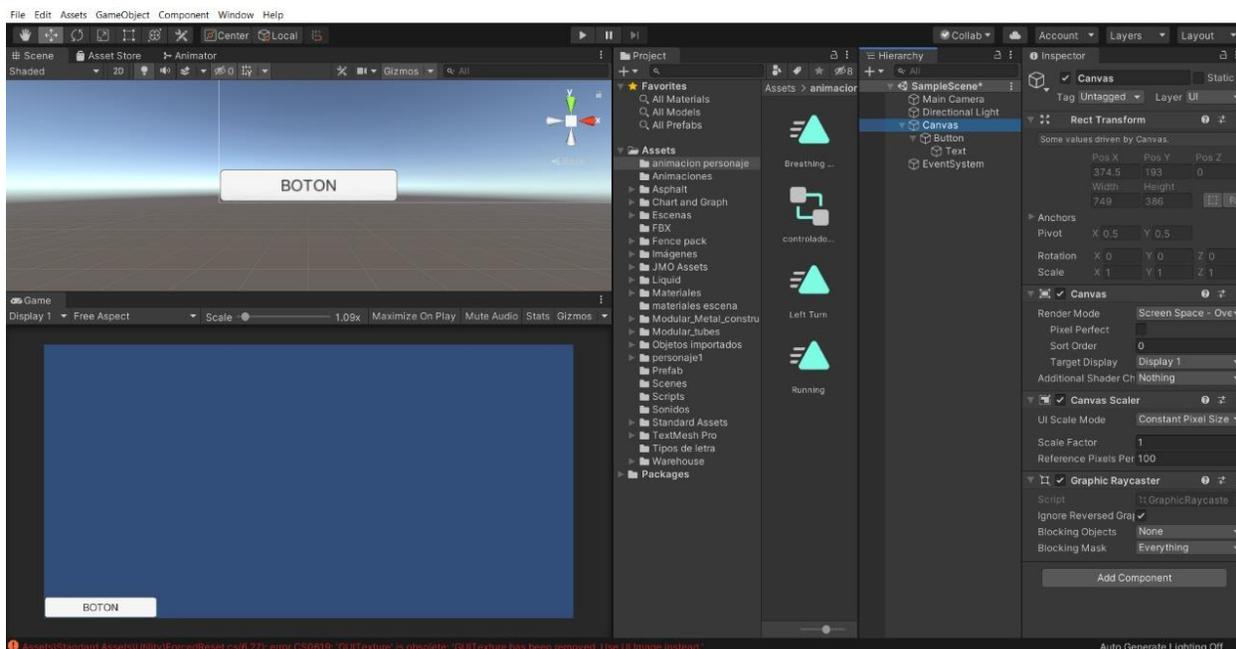


Nota. La figura muestra las 3 pantallas del HMI generadas en Canvas para la visualización del proceso de adiestramiento.

Para la interacción del usuario con el HMI, Unity3D emplea una Interfaz de Usuario (UI) que permite la visualización de datos recibidos desde los nodos sensores, botones de inicio y culminación de la práctica, la generación del informe respectivo, etc. Para implementar los elementos de la UI, es necesario crear un área de trabajo en Unity3D, llamada canvas. En el contenedor canvas se añaden los botones etiquetados en Unity3D con Button – TextMeshPro, texto con la etiqueta Text – TextMeshPro e imágenes que pueden ser arrastradas al entorno, las cuales se pueden editar fácilmente en la ventana Inspector como se puede ver en la figura 19.

Figura 19

Área de trabajo canvas con elementos UI



Nota. A diferencia de los elementos que no son UI y que se pueden crear en Unity3D; los elementos UI son estáticos.

Cada elemento y objeto creado en la interfaz UI es animado mediante la creación de scripts que se redirigen a la pantalla de programación de Visual Studio. Para el inicio del ejercicio, se observa una primera pantalla; esta pantalla principal como se observa en la figura 20, contiene 4 botones principales: inicio de práctica, informe prácticas, activación lectura serial y salir; además de un cuadro de escritura utilizado para el ingreso manual de la ubicación del archivo de la base de datos donde se van a guardar todas las prácticas realizadas por el personal militar.

El botón de activación de lectura serial mediante la función `activate.isON`, activa la comunicación serial entre Unity3D y el IDE de Arduino, recibiendo los datos enviados por este último. Sin la activación de la lectura serial, aunque se dé inicio al ejercicio, este no será registrado por el software y, por lo tanto, no será archivado en la base de datos del sistema de entrenamiento virtual.

Por otro lado, El botón “Iniciar Práctica” conduce a una segunda pantalla de visualización de la práctica donde se registran todos los disparos realizados y acertados en alguno de los puntos letales del blanco de tiro. Mientras que, el botón “Informe Prácticas”, conduce a una tercera pantalla donde se visualiza el número de práctica correspondiente, la fecha y hora de ejecución del entrenamiento y el resultado en cuanto a aciertos alcanzados por el personal.

Finalmente, el botón “Salir” culmina con todo el proceso y cierra el HMI de visualización, reiniciando de este modo el programa para la realización de nuevas prácticas. Al pulsar este botón, se da paso al envío de la información receptada hacia la base de datos para guardar los datos del entrenamiento.

Figura 20

Pantalla principal del HMI del polígono de tiro



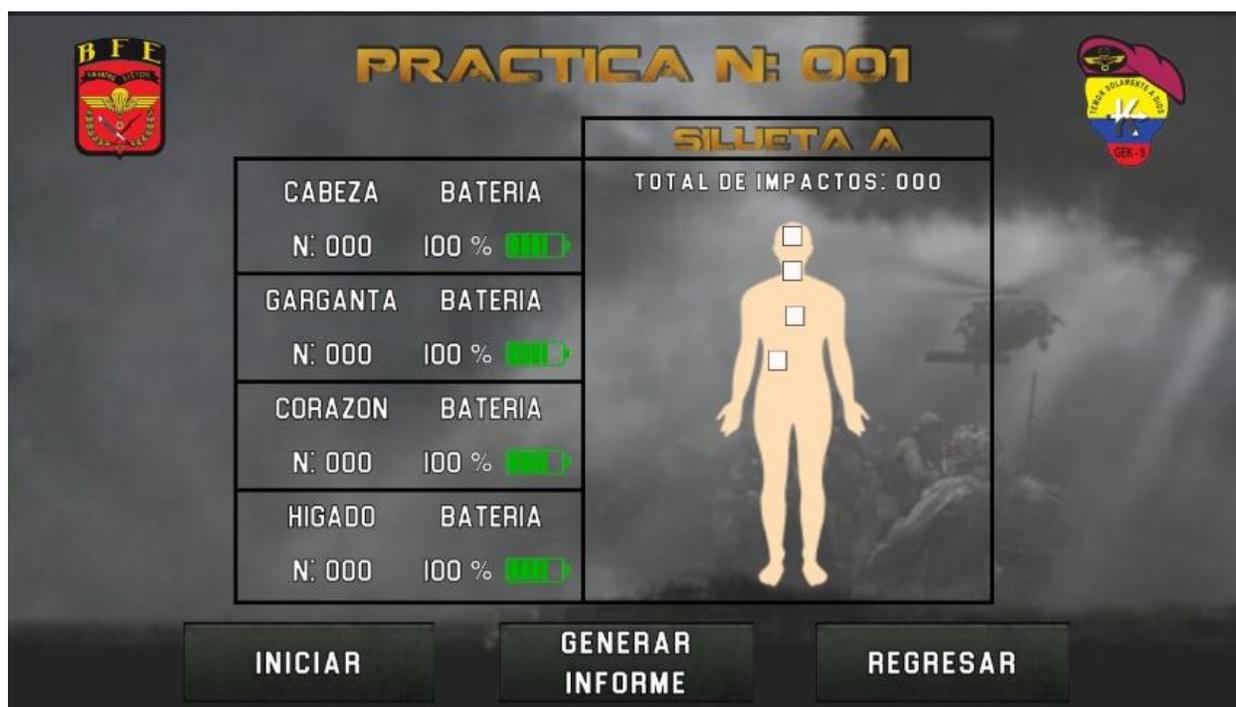
Nota. La figura muestra la pantalla de inicio del MHI del polígono de tiro láser diseñado para el entrenamiento del personal militar de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.

En la figura 21 se visualiza la segunda pantalla que presenta la actualización de la práctica en ejecución. En esta pantalla se puede observar el número de impactos logrados en los 4 puntos letales, tanto numéricamente como en la silueta del polígono de tiro y el porcentaje de batería de cada nodo sensor. La segunda pantalla contiene 3 botones, el botón “Inicio” mediante la función `Serial.EnviarDato(1)`, empieza con la lectura de las señales enviadas por los nodos sensores montados sobre la silueta en el campo de entrenamiento. El botón “Regresar” permite acceder nuevamente a la pantalla principal y por último, el botón “Generar

Informe” mediante la función Serial.EnviarDato(0) paraliza el conteo de disparos y reinicia el conteo, de esta manera, se puede realizar una nueva práctica sin alterar los datos obtenidos con anterioridad.

Figura 21

Pantalla secundaria del HMI del polígono de tiro



Nota. La figura muestra la segunda pantalla del HMI diseñado para el polígono de tiro de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.

La figura 22 muestra la tercera pantalla correspondiente al informe de prácticas. En esta pantalla se pueden apreciar 2 botones y una tabla de datos. El botón “Consultar” toma los datos guardados en la base de datos y permite visualizar esta información en el HMI de Unity3D, la fecha y hora en las que se realizaron, el total de impactos y el porcentaje de aciertos en cada

uno de los puntos letales. Mientras que, el botón “Regresar”, sirve para volver a la pantalla principal del HMI.

Figura 22

Pantalla terciaria del HMI del polígono de tiro



Nota. La figura muestra la pantalla de Informe de prácticas realizadas en el polígono de tiro láser.

Capítulo IV

Resultados Experimentales

Implementación del sistema

Los componentes que forman parte del SCF son los nodos sensores colocados sobre la silueta de entrenamiento, el canal de comunicación del sistema físico con el área computacional, y finalmente el software del sistema encargado de la manipulación de los datos obtenidos. En la figura 23 se puede observar el montaje de los dispositivos dentro del área de entrenamiento.

Figura 23

SCF para la cuantificación de impactos de un polígono de tiro láser



Nota. La figura muestra la implementación del SCF en el polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 "Patria".

Para una mejor comprensión del funcionamiento del SCF implementado, se realizan varias pruebas, las cuales incluyen pruebas de funcionamiento del nodo sensor en cuanto a recepción y envío de datos de forma fiable al sistema computacional, pruebas de funcionamiento del sistema implementado en el polígono de tiro y pruebas de ángulo de sensado de los módulos LDR.

Prueba de funcionamiento del nodo sensor

Para comprobar el correcto funcionamiento del nodo sensor, se realiza una prueba de sensado mediante la visualización de la trama de datos recibida por el puerto serial de arduino. Los datos se reciben en el siguiente orden: porcentaje de batería, número de disparos y estado de conexión. En el estado de conexión del detector láser, existen dos opciones: la primera muestra un 1 para indicar que el nodo sensor está conectado y en funcionamiento y la segunda muestra un 0 para indicar un estado de desconexión.

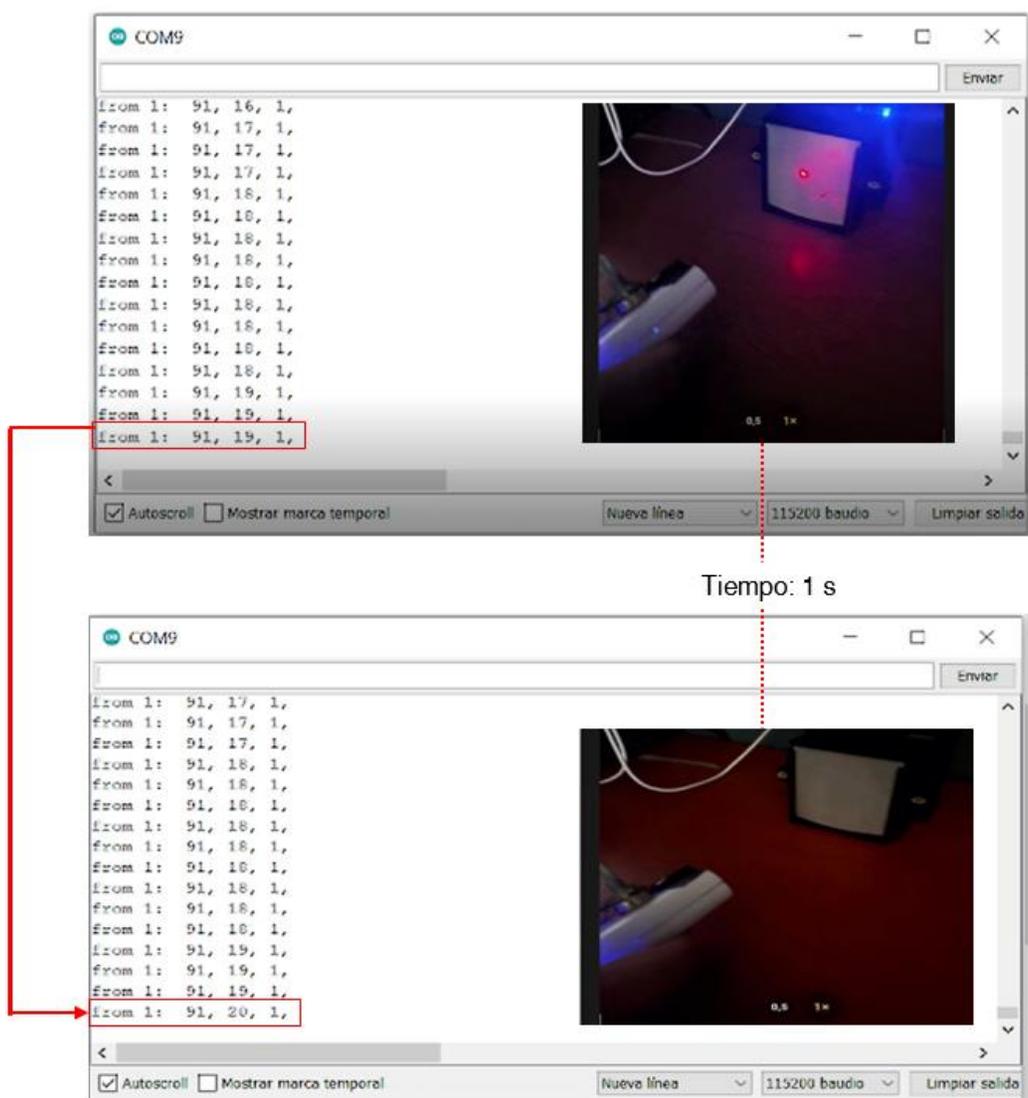
En la prueba de funcionamiento se realizan un total de 20 disparos, efectuados en intervalos de 1 segundo cada uno. En la figura 24 se puede observar una primera imagen (superior) que muestra el momento exacto en el que el nodo de recepción láser recibe la señal un tiro, a su vez se muestra el porcentaje de batería del nodo sensor que se encuentra 91%, un total de 19 disparos realizados y por último dato que indica el estado de conexión:1; es decir, activo para el sensor.

Inmediatamente después de terminar el disparo, los datos observados en la segunda imagen (inferior) pasan a ser los siguientes: porcentaje de batería: 91%, número de disparos efectuados 20 y estado de conexión en 1. Estos datos reflejan que, en un estado de conexión y con un 91% de batería, el nodo sensor detecto el rayo de luz inmerso en él. De este modo, se

puede comprobar el correcto funcionamiento del nodo sensor en cuanto a recepción y envío de datos.

Figura 24

Pantalla terciaria del HMI del polígono de tiro



Nota. La figura muestra el funcionamiento correcto del nodo sensor al detectar in disparo láser.

Prueba de funcionamiento 1

Para la primera práctica y prueba de funcionamiento adecuado del sistema implementado, en primera instancia se habilita la activación de lectura serial para que se establezca la comunicación Unity3D – ESP8266 servidor y, de esta manera los datos recibidos por el servidor desde los clientes, se envíen hacia el software del SCF. Posterior a esto, se ingresa la dirección del archivo de texto .txt ubicado en el computador, a fin de tener un registro de las prácticas realizadas. Estos primeros pasos se pueden observar en la figura 25.

Figura 25

Pantalla terciaria del HMI del polígono de tiro

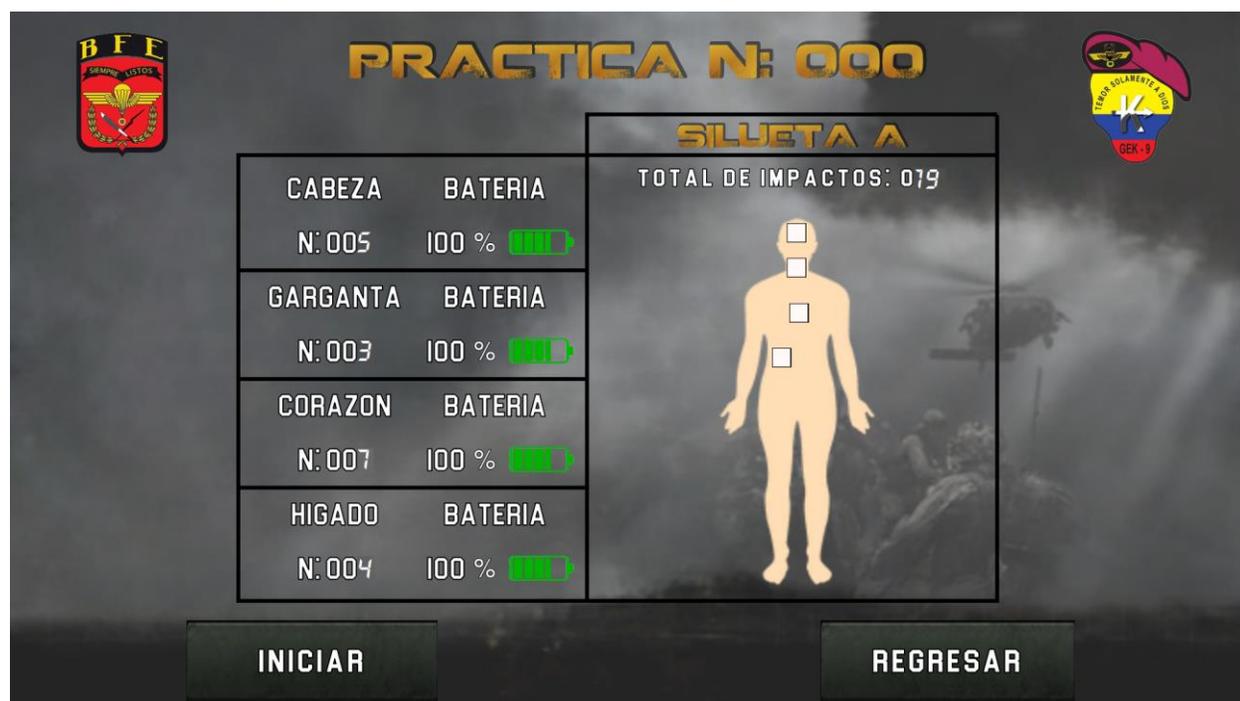


Nota. La figura muestra la activación de lectura serial y dirección de la base de datos ingresada en el HMI de Unity3D.

Pulsar el botón “Iniciar práctica” permite el acceso a la segunda pantalla del HMI, donde mediante el botón “Iniciar”, el practicante puede empezar con el proceso de entrenamiento. En la práctica No. 1 se realizaron un total de 19 disparos de los cuales 5 alcanzaron la cabeza, 3 impactaron la garganta, 7 llegaron al corazón y finalmente 4 impactaron a la altura del hígado, como se observa en la figura 26.

Figura 26

Prueba de funcionamiento 1 del SCF



Nota. La figura muestra el HMI de la primera práctica realizada en el polígono de tiro con el SCF.

La figura 27 muestra el informe de la práctica que genera el sistema al culminar con el entrenamiento de tiro, en la pantalla del HMI se puede visualizar el número de práctica realizada, la fecha y hora en la que se efectuó, el número total de aciertos logrados y el

porcentaje de impactos alcanzados en la cabeza, la garganta, el corazón o el hígado respectivamente.

Figura 27

Informe de la práctica 1

N.-	FECHA-HORA	IMPACTOS	#CABEZA	#GARGANTA	#CORAZON	#HIGADO
000	31:07:2022 22:30:19	000	000	000	000	000
001	15:08:2022 02:29:21	019	005	003	007	004
002	15:08:2022 02:31:52	038	009	011	008	010
003	15:08:2022 02:33:33	021	004	006	005	006
004	15:08:2022 02:36:11	019	004	005	002	008
005	15:08:2022 02:43:05	283	092	096	003	092
006	15:08:2022 02:54:53	024	003	009	006	006
007	15:08:2022 02:57:54	050	010	014	015	011
008	15:08:2022 03:01:33	021	005	007	003	006
009	15:08:2022 03:04:15	024	006	007	005	006
010	15:08:2022 03:08:25	032	006	006	016	004
011	15:08:2022 03:11:43	019	005	005	004	005
012	15:08:2022 03:20:58	025	006	006	006	007
013	15:08:2022 03:23:45	017	004	005	003	005
014	15:08:2022 03:27:00	020	005	005	005	005

CONSULTAR
REGRESAR

Nota. La figura muestra en informe de la primera práctica realizada en el polígono de tiro con el SCF.

Finalmente, en la figura 28, se puede apreciar la base de datos que se genera en la dirección del ordenador colocada al iniciar la práctica de tiro, es importante mencionar que esta base de datos se actualiza a medida que se realizan las prácticas en el polígono de tiro, permitiendo una actualización constante del estado de campo virtual en cuanto a intervenciones del personal en entrenamiento y un control de las prácticas realizadas por el

mismo. La importancia de llevar un registro tan detallado del entrenamiento se debe al posterior análisis de datos que puede ser llevado a cabo para la evaluación del practicante.

Figura 28

Base de datos del SCF implementado en el polígono de tiro láser.

000	31:07:2022	22:30:19	000	000	000	000	000
001	15:08:2022	02:29:21	019	005	003	007	004

Nota. La figura muestra la base de datos del polígono de tiro con el SCF al tomar los datos de la primera pantalla.

Prueba de funcionamiento 2

En esta práctica se ha contemplado que, de igual manera, como en las pruebas iniciales se debe escribir la dirección del archivo donde se almacenará la información así también la habilitación del puerto serial la que permitirá la comunicación inmediata del servidor con los clientes.

Cabe mencionar que, para mantener un registro continuo de las prácticas realizadas por el personal militar, es necesario que la dirección del archivo de almacenamiento de datos sea la misma ingresada anteriormente. De este modo, los registros se mantendrán alojados en un mismo lugar, haciendo más fácil el análisis posterior de la información guardada en la base de datos.

Una vez iniciada la prueba de funcionamiento, se puede observar en la figura 29 como al iniciar al adiestramiento No. 12 con el arma adaptada para el polígono láser, el nodo sensor

detecta el disparo efectuado sobre el hígado como punto letal, e inmediatamente este se ve reflejado en el HMI del SCF.

Figura 29

Prueba de funcionamiento 2 del SCF



Nota. La figura muestra el porcentaje de batería del nodo sensor y el disparo efectuado.

En esta práctica se realizaron un total de 25 disparos efectuados por el personal practicante, como se observa en la figura 30. Estos impactos se han distribuido cuantitativamente en el blanco de tiro en forma de silueta de la siguiente manera: 6 disparos en la cabeza, 6 disparos efectuados a nivel de la garganta, 6 disparos a nivel del corazón y 7 tiros en el hígado.

Mientras que los porcentajes de las baterías son de 84% para el nodo sensor ubicado en la cabeza, 88% para el detector situado en la garganta, 92% de carga para el nodo sensor del corazón y 89% de carga para el detector láser colocado a nivel del hígado.

Figura 30

Cuantificación de impactos de la prueba de funcionamiento 2.



Nota. La figura muestra el porcentaje de batería de cada nodo sensor y la cuantificación de los impactos realizados en cada punto letal sobre la silueta.

Finalmente, el paso a seguir para culminar el entrenamiento es generar el informe de la práctica realizada. El adiestramiento se termina y se procede a la verificación de la información almacenada por el sistema en la base de datos.

En la figura 31 se puede apreciar el resultado de la prueba de funcionamiento 2, que por ajustes realizados en el sistema lleva el nombre de práctica No. 12, la cual da un total de 25 tiros realizados; siendo este el 100% de los tiros efectuados. Del 100% de tiros realizados, el 72% se distribuye equitativamente entre la cabeza, la garganta y el corazón, con 6 disparos cada uno. Mientras que el hígado tiene un porcentaje del 28% de aciertos, esto debido a que, como se observó anteriormente, este punto letal tiene 7 tiros alcanzados de los 25 disparos

totales efectuados. Por consiguiente, se procede a generar el informe de la práctica para apreciar los resultados.

Figura 31

Informe de la práctica No.12 de la prueba de funcionamiento 2.

INFORME DE PRACTICAS							
N.-	FECHA-HORA	IMPACTOS	#CABEZA	#GARGANTA	#CORAZON	#HIGADO	
000	31:07:2022 22:30:19	000	000	000	000	000	000
001	15:08:2022 02:29:21	019	005	003	007	004	004
002	15:08:2022 02:31:52	038	009	011	008	010	010
003	15:08:2022 02:33:33	021	004	006	005	006	006
004	15:08:2022 02:36:11	019	004	005	002	008	008
005	15:08:2022 02:43:05	283	092	096	003	092	092
006	15:08:2022 02:54:53	024	003	009	006	006	006
007	15:08:2022 02:57:54	050	010	014	015	011	011
008	15:08:2022 03:01:33	021	005	007	003	006	006
009	15:08:2022 03:04:15	024	006	007	005	006	006
010	15:08:2022 03:08:25	032	006	006	016	004	004
011	15:08:2022 03:11:43	019	005	005	004	005	005
012	15:08:2022 03:20:58	025	006	006	006	007	007
013	15:08:2022 03:23:45	017	004	005	003	005	005
014	15:08:2022 03:27:00	020	005	005	005	005	005

CONSULTAR

REGRESAR

Nota. La figura muestra el porcentaje de impactos distribuidos entre los puntos letales.

En la figura 32 se puede evaluar la base de datos generada por el ordenador automáticamente, en la misma se observa que el informe reflejado en la HMI coincidente con lo evidenciado en el gestor de datos; es decir, tanto en el informe de prácticas que se muestra en la pantalla del ordenador como la base de datos local, contienen en número de práctica realizada, la fecha y hora del entrenamiento, la cantidad de impactos registrados y la

localización de los mismos sobre el blanco de tiro en los cuatros puntos letales donde se encuentran los nodos sensores.

Figura 32

Base de datos de la prueba de funcionamiento 2.

000	31:07:2022	22:30:19	000	000	000	000	000
001	15:08:2022	02:29:21	019	005	003	007	004
002	15:08:2022	02:31:52	038	009	011	008	010
003	15:08:2022	02:33:33	021	004	006	005	006
004	15:08:2022	02:36:11	019	004	005	002	008
005	15:08:2022	02:43:05	283	092	096	003	092
006	15:08:2022	02:54:53	024	003	009	006	006
007	15:08:2022	02:57:54	050	010	014	015	011
008	15:08:2022	03:01:33	021	005	007	003	006
009	15:08:2022	03:04:15	024	006	007	005	006
010	15:08:2022	03:08:25	032	006	006	016	004
011	15:08:2022	03:11:43	019	005	005	004	005
012	15:08:2022	03:20:58	025	006	006	006	007

Nota. La figura muestra la base de datos generada de la práctica de tiro 2.

Prueba de funcionamiento 3

La tercera prueba de funcionamiento del sistema completo integrado en el polígono de tiro láser se registra como práctica No. 13. El objetivo de este adiestramiento además de evaluar el desempeño del sistema de detección láser, es verificar los puntos ciegos de detección para el nodo sensor, evaluando su comportamiento, alcances y limitaciones a la hora de detectar los disparos efectuados por los practicantes.

Al iniciar el entrenamiento, se efectúan 4 disparos en total, uno de ellos impacta en la zona de la cabeza, un disparo llega al nodo ubicado en el corazón, otro en el cuello y

finalmente se registra un impacto en el hígado. Como se puede observar en la figura 33, un primer resultado arroja un correcto desempeño de los nodos sensores, puesto que cada punto registra los disparos acertados por el practicante en tiempo real y el porcentaje de batería de cada nodo respectivamente.

Figura 33

Prueba de funcionamiento 3 del SCF.



Nota. La figura muestra el número de impactos distribuidos entre los 4 puntos letales. Además, se muestra la sincronización existente entre el impacto recibido en el sistema físico y la animación del HMI para muestra del impacto receptado.

En la segunda ronda de disparos durante la práctica 3, se realizan 4 tiros más, de los cuales uno no es detectado por el nodo sensor 3. Como se observa en la figura 34 el segundo disparo realizado al nodo sensor ubicado en el corazón, no es contabilizado por el sistema, por lo tanto, no se muestra en el HMI. En la silueta que contiene los nodos sensores, se puede

observar como el impacto llega al borde inferior izquierdo del nodo sensor ubicado a nivel del corazón; por lo que no es detectado y en consecuencia no se contabiliza en el sistema.

Figura 34

Prueba de funcionamiento 3 – limitación de sensado.



Nota. La figura muestra una de las limitaciones de sensado de los nodos sensores.

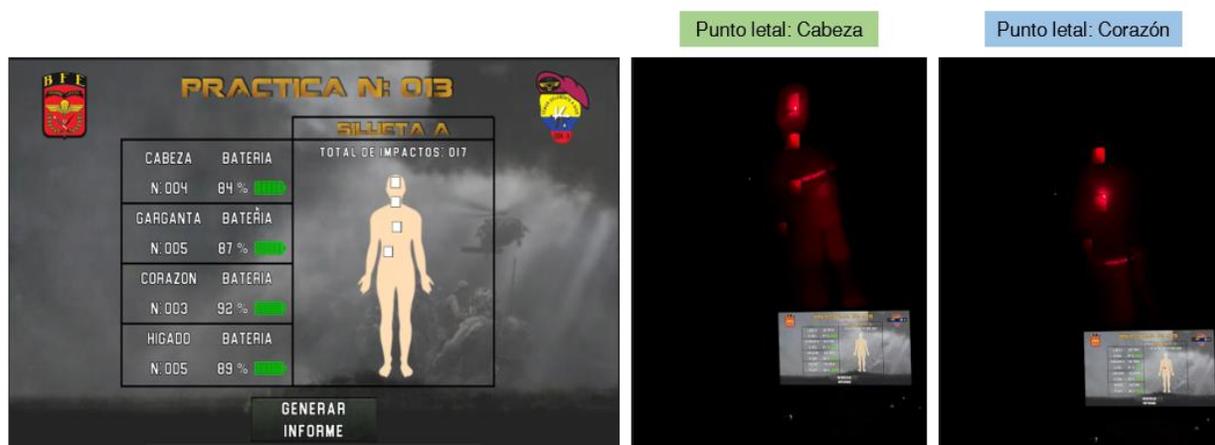
Al culminar con el entrenamiento y verificación de puntos ciegos de los nodos sensores, se realizaron un total de 20 disparos, de los cuales 17 fueron contabilizados por el sistema como se observa en la figura 35, esto debido a que en el intento número 5 para cada punto letal, los disparos realizados hacia la cabeza y el corazón, se dieron en las esquinas de los nodos ubicados en estos puntos.

El tiro dirigido a la cabeza impactó la esquina inferior derecha por lo cual no fue detectado. Mientras que el tiro dirigido para el corazón, impactó la esquina superior derecha,

siendo este también categorizado como error y por lo tanto no es registrado en durante la práctica.

Figura 35

Pantalla de cuantificación de impactos de la prueba de funcionamiento 3.



Nota. La figura muestra el total de disparos efectuados durante la tercera prueba de funcionamiento.

El informe generado de la práctica No. 13 puede ser apreciado en la figura 36. En él se encuentra la presentación de los impactos cuantificados, así como el número de disparos correspondiente a cada punto letal. Se debe tener en cuenta que, la limitación de sensado encontrada que corresponde a las esquinas de los nodos sensores puede ser ajustada al aumentar la sensibilidad de los módulos LDR.

De este modo, se corrigen los errores de captación del láser encontrados y se aumenta la precisión y exactitud del sistema virtualizado para entrenamiento de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9 "Patria".

Figura 36

Informe de la prueba de funcionamiento 3.

N.-	FECHA-HORA	IMPACTOS	#CABEZA	#GARGANTA	#CORAZON	#HIGADO
000	31:07:2022 22:30:19	000	000	000	000	000
001	15:08:2022 02:29:21	019	005	003	007	004
002	15:08:2022 02:31:52	038	009	011	008	010
003	15:08:2022 02:33:33	021	004	006	005	006
004	15:08:2022 02:36:11	019	004	005	002	008
005	15:08:2022 02:43:05	283	092	096	003	092
006	15:08:2022 02:54:53	024	003	009	006	006
007	15:08:2022 02:57:54	050	010	014	015	011
008	15:08:2022 03:01:33	021	005	007	003	006
009	15:08:2022 03:04:15	024	006	007	005	006
010	15:08:2022 03:08:25	032	006	006	016	004
011	15:08:2022 03:11:43	019	005	005	004	005
012	15:08:2022 03:20:58	025	006	006	006	007
013	15:08:2022 03:23:45	017	004	005	003	005
014	15:08:2022 03:27:00	020	005	005	005	005

CONSULTAR
REGRESAR

Nota. La figura muestra el informe de la prueba de funcionamiento 3 con un total de 17 impactos detectados.

En la figura 37 se puede apreciar la base de datos generada por el ordenador automáticamente en la interfaz, en la misma se observa que el informe reflejado en la HMI es coincidente con lo evidenciado en la base de datos local, esto permite evaluar el comportamiento de los dispositivos nodo sensores en la práctica número 13 que da como resultado un correcto desempeño para las practicas posteriores.

Figura 37

Base de datos de la prueba de funcionamiento 3.

000	31:07:2022 22:30:19	000	000	000	000	000
001	15:08:2022 02:29:21	019	005	003	007	004
002	15:08:2022 02:31:52	038	009	011	008	010
003	15:08:2022 02:33:33	021	004	006	005	006
004	15:08:2022 02:36:11	019	004	005	002	008
005	15:08:2022 02:43:05	283	092	096	003	092
006	15:08:2022 02:54:53	024	003	009	006	006
007	15:08:2022 02:57:54	050	010	014	015	011
008	15:08:2022 03:01:33	021	005	007	003	006
009	15:08:2022 03:04:15	024	006	007	005	006
010	15:08:2022 03:08:25	032	006	006	016	004
011	15:08:2022 03:11:43	019	005	005	004	005
012	15:08:2022 03:20:58	025	006	006	006	007
013	15:08:2022 03:23:45	017	004	005	003	005

Nota. La figura muestra la base de datos de la prueba de funcionamiento 3 con un total de 17 impactos detectados.

Prueba de funcionamiento 4

Al igual que las pruebas realizadas anteriormente, para dar inicio a la práctica se debe considerar la activación de la lectura serial y el ingreso de la ubicación de la base de datos del SCF. Esta prueba se realiza después de haber calibrado los sensores a fin de que detecten los impactos recibidos en las esquinas de los nodos sensores. Con la práctica No. 14 se efectúan 20 disparos, distribuidos de manera igualitaria para todos los puntos letales. En la figura 38 se puede observar cómo al realizar el quinto disparo para todos los sensores, uno de ellos impacta

sobre la esquina superior izquierda del corazón, siendo contabilizado de igual manera por el sistema.

Figura 38

Prueba de funcionamiento 4 del SCF.



Nota. La figura muestra la prueba de funcionamiento 4 con un total de 20 impactos detectados.

De acuerdo con los últimos resultados obtenidos, se puede aseverar que el SCF diseñado en el polígono de tiro láser de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria” comparando los datos realizados en la práctica, con los datos obtenidos es sumamente eficiente, preciso y exacto.

Además de cumplir con sus objetivos ya que permite cuantificar el número de impactos totales efectuados por el personal de con gran precisión y entrega un informe detallado del lugar de impacto como se observa en la figura 39.

Figura 39

Informe de la prueba de funcionamiento 4 del SCF.

N.-	FECHA-HORA	IMPACTOS	#CABEZA	#GARGANTA	#CORAZON	#HIGADO
000	31:07:2022 22:30:19	000	000	000	000	000
001	15:08:2022 02:29:21	019	005	003	007	004
002	15:08:2022 02:31:52	038	009	011	008	010
003	15:08:2022 02:33:33	021	004	006	005	006
004	15:08:2022 02:36:11	019	004	005	002	008
005	15:08:2022 02:43:05	283	092	096	003	092
006	15:08:2022 02:54:53	024	003	009	006	006
007	15:08:2022 02:57:54	050	010	014	015	011
008	15:08:2022 03:01:33	021	005	007	003	006
009	15:08:2022 03:04:15	024	006	007	005	006
010	15:08:2022 03:08:25	032	006	006	016	004
011	15:08:2022 03:11:43	019	005	005	004	005
012	15:08:2022 03:20:58	025	006	006	006	007
013	15:08:2022 03:23:45	017	004	005	003	005
014	15:08:2022 03:27:00	020	005	005	005	005

CONSULTAR **REGRESAR**

Nota. La figura muestra el informe de la prueba de funcionamiento 4 con un total de 20 impactos detectados.

En la figura 40 se puede apreciar la base de datos generada por el ordenador automáticamente, en la misma se observa que el informe reflejado en la HMI es coincidente con lo evidenciado en la base de datos, concluyendo con las practicas realizadas para evaluar comportamiento de los dispositivos nodo sensores en la práctica número 14 nos permite determinar que el sistema SCF funciona correctamente.

Figura 40

Base de datos de la prueba de funcionamiento 4 del SCF.

000	31:07:2022	22:30:19	000	000	000	000	000
001	15:08:2022	02:29:21	019	005	003	007	004
002	15:08:2022	02:31:52	038	009	011	008	010
003	15:08:2022	02:33:33	021	004	006	005	006
004	15:08:2022	02:36:11	019	004	005	002	008
005	15:08:2022	02:43:05	283	092	096	003	092
006	15:08:2022	02:54:53	024	003	009	006	006
007	15:08:2022	02:57:54	050	010	014	015	011
008	15:08:2022	03:01:33	021	005	007	003	006
009	15:08:2022	03:04:15	024	006	007	005	006
010	15:08:2022	03:08:25	032	006	006	016	004
011	15:08:2022	03:11:43	019	005	005	004	005
012	15:08:2022	03:20:58	025	006	006	006	007
013	15:08:2022	03:23:45	017	004	005	003	005
014	15:08:2022	03:27:00	020	005	005	005	005

Nota. La figura muestra la base de datos de la prueba de funcionamiento 4 con un total de 20 impactos detectados.

Análisis de resultados

Dadas las pruebas realizadas de funcionamiento con el SCF diseñado en el polígono de tiro, la tabla 10 muestra un resumen de los resultados obtenidos detallando el total de disparos realizados, el total de aciertos en la silueta, el total de aciertos en los puntos letales cabeza, garganta, corazón, hígado.

Tabla 10

Resultados de las pruebas realizadas

N°	Total disparos	Total aciertos	Cabeza	Garganta	Corazón	Hígado
1	19	19	5	3	7	4
2	25	25	6	6	6	7
3	20	17	4	5	3	5
4	20	20	5	5	5	5

Nota. La tabla muestra los resultados de las 4 prácticas realizadas en el polígono de tiro láser.

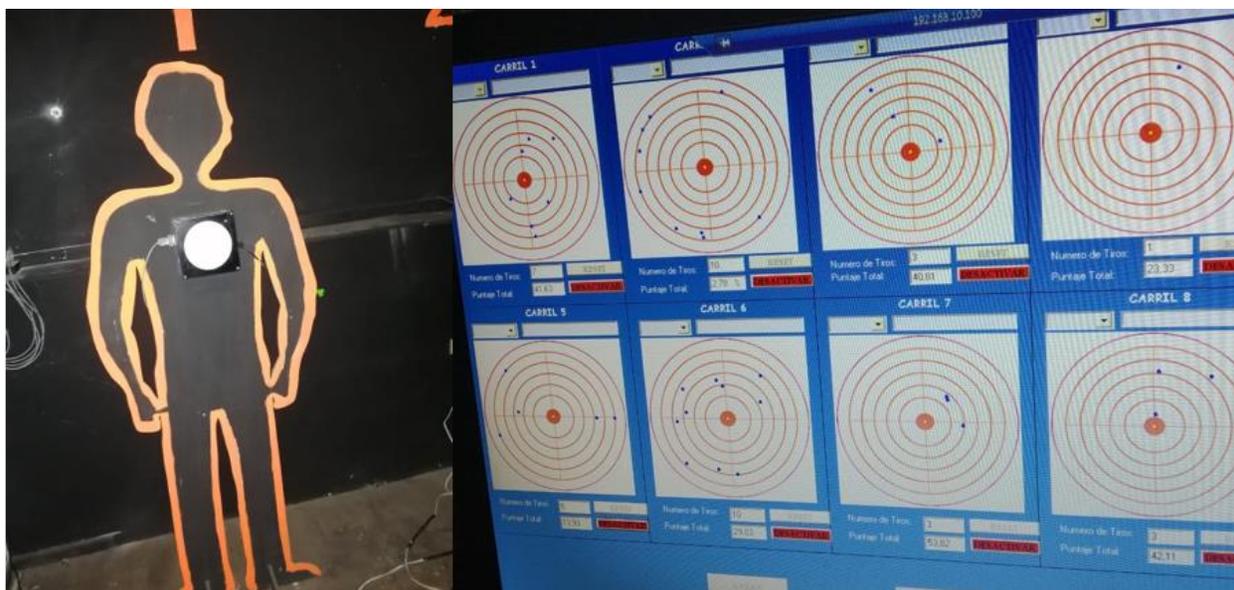
En una primera prueba realizada en el polígono de tiro láser con el sistema anterior que se muestra en la figura 41, se puede apreciar blancos de tiro con un único sensor de recepción láser ubicado en el centro de la silueta, y conectado al sistema computarizado de forma alámbrica, esto hace difícil su movimiento dentro del área de práctica para la recreación de nuevos escenarios; además, se muestra una pantalla HMI que muestra los tiros alcanzados a las 8 siluetas existentes en el área de entrenamiento.

Sin embargo, la visualización de los datos expuestos en la pantalla HMI, son momentáneos, dado que no existe una base de datos que permita almacenar la información de la práctica realizada y por lo tanto, no se puede realizar una evaluación de progreso del practicante con respecto a prácticas anteriores.

Adicionalmente el número de siluetas que contiene este simulador son difíciles de replicar, y el número de blancos depende del hub serial de 8 puertos lo que es un limitante para el número de sensores que soporta el simulador estén conectados.

Figura 41

Práctica de tiro con el sistema de recepción láser antiguo.



Nota. La figura muestra el funcionamiento del polígono de tiro láser antiguo de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 “Patria”.

Por otro lado, el diseño de conexión inalámbrica de los nodos sensores clientes y el servidor del nuevo SCF, permite que la silueta sea ubicada en diferentes posiciones dentro del área de entrenamiento, posee también 3 puntos adicionales de sensado fácilmente escalables y almacena la información receptada a fin de evaluar el desempeño y avance del practicante con respecto a prácticas anteriores.

Por lo tanto, al comparar el sistema antiguo con el SFC, se puede notar que este último presenta mayores beneficios, y la interacción con el usuario hace que la práctica tenga una retroalimentación positiva para la evaluación del practicante. La práctica No. 3 efectuada con el

nuevo SCF, se realizó con el fin de evaluar las limitaciones que pueda tener el sistema en cuanto a puntos ciegos de los sensores, logrando calibrar y llegar a un sensado correcto en todos los puntos del nodo sensor.

El SCF muestra un funcionamiento adecuado al detectar todos los disparos efectuados por el personal militar, dada la capacidad de cobertura del elemento primario de sensado, y, gracias a la velocidad de transmisión de datos de las placas electrónicas dispuestas para el polígono de tiro, los disparos efectuados se ven reflejados de forma inmediata en la pantalla de visualización HMI.

Alcances

La implementación del sistema SCF en la Brigada de Fuerzas Especiales Nro. 9 “Patria”, permite:

- Mejorar el entrenamiento de la persona en capacitación.
 - Llevar un control de las prácticas realizadas y una evaluación del rendimiento del personal militar.
 - El SCF se desarrolló con intranet, por lo cual es factible su migración a IoT, implementando bases de datos en la nube para una mejor gestión de la información obtenida.
 - La Base de Datos local creada en un archivo de texto, no tiene límite de datos a almacenar, convirtiéndola en una alternativa de alta efectividad. Esto en comparación con bases de datos en la nube que muchas veces tienen límites de almacenamiento y costos elevados por expandir el espacio disponible para los datos enviados por los nodos sensores.
- Además, al tratarse de un archivo de texto fácilmente reubicable en el ordenador, puede ser muy intuitivo y ser utilizado en otras aplicaciones.

- La expansión ilimitada de nodos sensores y réplicas de siluetas para el entrenamiento. La única consideración a toma en cuenta para la implementación de nodos sensores son los puertos disponibles en el módulo ESP8266 servidor.
- Escalabilidad de la red servidor – cliente tanto en el número de servidores como en el número de clientes.

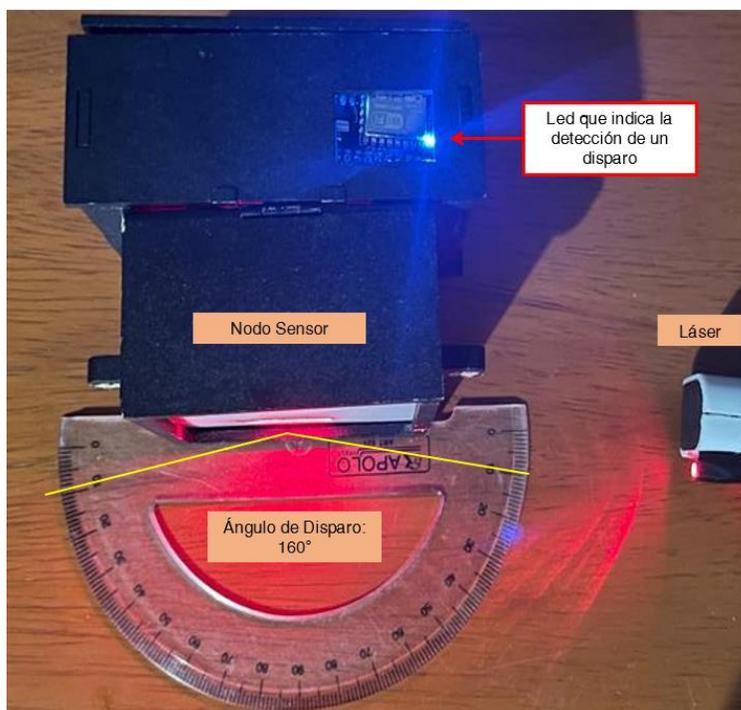
Limitaciones

Debido al entorno de implementación y factores de iluminación, el SCF cuenta con las siguientes limitaciones:

- Versión del software del HMI: considerando la versión 2021 de Unity3D, el proyecto no se podrá utilizar en versiones anteriores.
- Distancia de captación: debido a las dimensiones del polígono de tiro de la Brigada de Fuerzas Especiales No. 9 Patria, la distancia máxima a la que se puede realizar un disparo y ser detectado por el nodo sensor, es de 40m.
- Ángulo de disparo: debido al diseño de la estructura que contiene los módulos de detección, a pesar de que estos tienen una cobertura de 0 – 180°, el ángulo real en el que se capta de manera fiable un disparo es de 160° ya que el nodo sensor tiene bordes que enmarcan la lámina de papel calco. Para prueba de ello, en la figura 42 se puede observar, como al colocar el láser a un mínimo de 10°, la captación de la señal emitida por los sensores llega hasta el módulo ESP8266 como se muestra en la figura, el módulo contiene un led de color azul que en caso de captar el disparo se enciende de esta forma se pudo evaluar el ángulo de detección.

Figura 42

Limitación en el ángulo de disparo del nodo sensor



Nota. La figura muestra como al detectar un disparo, un led de color azul se enciende en la tarjeta electrónica ESP8266.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El sistema de entrenamiento implementado permite adiestrar al personal militar mediante el ejercicio denominado tiro de precisión centrados en los puntos esenciales de cuerpo humano de lo cual se debe mencionar que el sistema responde con un desempeño en los 160 grados correspondientes al punto del sensor.

Al utilizar la configuración servidor/ cliente, la estabilidad del SCF es ilimitada, el sistema puede crecer tanto en clientes como en servidores sin afectar su funcionalidad. Además, el mantenimiento del sistema se facilita debido a la topología tipo estrella implementada.

Implementar una base de datos permite tener un registro continuo de las prácticas realizadas por el personal militar, de este modo se puede evaluar su adiestramiento y verificar los puntos de dificultad.

El desarrollo de una plataforma IoT permite tener un mejor tratamiento de la información, almacenando grandes cantidades de información de forma automática y permitiendo una evaluación efectiva de los datos obtenidos.

Recomendaciones

Tomando en cuenta la sensibilidad de los módulos LDR, es necesario realizar un ajuste para las prácticas a realizarse durante el día. Además, se debe considerar una disminución de la distancia de detección láser.

Al tener una capacidad de medición que supera las dimensiones del área dispuesta para el entrenamiento del personal militar, es recomendable ampliar dicha área a fin de aprovechar toda la capacidad que el SCF ofrece.

Las baterías utilizadas para los nodos sensores son recargables, lo que sugiere que no exista un reemplazo inmediato, esto minimiza costos de mantenimiento y prolonga la vida útil del sistema diseñado.

Bibliografía

- 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 Pregrado]*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador.
- Andrade Torres, J. S., & Yandún Paspuel, D. J. (2020). Prototipo de un sistema de tiro para el entrenamiento del personal de las Fuerzas Armadas del Ecuador, usando realidad virtual y técnicas de inteligencia artificial. *[Tesis de Pregrado]*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2008, 20 de octubre). *Art. 158, Fuerzas Armadas y Policía Nacional*. Asamblea Nacional. www.asambleanacional.gob.ec
- Castro Silva, C. P. (2018). Desarrollo de un sistema de calificación para un polígono virtual de tiro basado en visión por computador. *[Tesis de Pregrado]*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- Chandy, J. C. (2010). Challenges in the design of Cyber-Physical Systems . *Invenierías USBMed*, 1(1), 6-14.
- Chuchico Arcos, C. P. (2021). Nodos sensores y protocolos de comunicación del internet de las cosas aplicados a la agricultura inteligente. *[Tesis de Posgrado]*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador.
- Espressif. (2022). *ESP8266EX Datasheet*. www.espressif.com

Fedaravičius, A., Pilkauskas, K., Slizys, E., & Survila, A. (2020). Research and development of training pistols for laser shooting simulation system. *Defence Technology*, 16(3), 530-534. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.06.018>

Herencia Rivero, M. (2016). Mejora y transferencia de la instrucción de tiro en simuladores. [Tesis de Grado]. Universidad Zaragoza, Zaragoza, España.

Lucero Urresta, E. K. (2020). Sistema de entrenamiento de tiro de precisión mediante realidad aumentada para el club deportivo especializado formativo "POLYGONO". [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Puyo Poloche, J. I., & Ruiz López, G. V. (2017). Automatización de un campo de tiro controlado y configurado mediante un dispositivo móvil. [Tesis de Pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Saona Domínguez, M. (2014). Diseño y construcción de un sistema mecatrónico, de detección de puntajes automatizado en "blancos o dianas" para un polígono de tiro. [Tesis de Pregrado]. Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

Technologies, U. (s.f.). *Unity*. <https://unity.com/es>

Texas Instruments. (2018). *LM393-N Datasheet*. www.ti.com

Villalba Novoa, P. V. (2015). Gerencia de tecnologías de simuladores de polígonos de tiro. [Tesis de Posgrado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Anexos