

# SISTEMA MECATRÓNICO DE BLANCOS ABATIBLES MÓVILES PARA ENTRENAMIENTO MILITAR DE TIRO DE COMBATE

## MECHATRONIC SYSTEM OF MOBILE FLIP-UP TARGETS FOR MILITARY COMBAT SHOOTING TRAINING

JOANIQUENA POMA, G., LOBATON MENDIETA, A.

### RESUMEN

**D**ebido al alto impacto que generó el desarrollo de las nuevas tecnologías en el mundo moderno, se globalizaron proyectos de alta tecnología que sin duda alguna revolucionaron la electrónica y la forma de diseñar, construir nuevas tecnologías en el área militar en sus diferentes campos. Los polígonos de entrenamiento de tiro de combate a nivel global han empezado a desarrollar nuevos métodos de entrenamientos, equipando con tecnología moderna para mejorar la reacción, precisión y adiestramiento de las Unidades Militares. El Estado Plurinacional de Bolivia, las Fuerzas Armadas, cuentan con unidades operativas especiales destinadas a diferentes tipos de entrenamientos, que cuentan con polígonos para entrenamiento de tiro de combate y armamento para realizar la práctica, pero están desactualizado en el área de tiro por falta de nuevas tecnologías que ayuden. Con el fin de modernizar el adiestramiento de tiro de combate evitando los entrenamientos de modo rústico e innovando con nuevas tecnologías dentro del área, equipando los polígonos con tecnología de blancos abatibles móviles.

### PALABRAS CLAVE

Sistema Mecatrónico, Blancos Abatibles Móviles, Tiro de Combate.

### ABSTRACT

**D**ue to the high impact generated by the development of new technologies in the modern world, high-tech projects were globalized that undoubtedly revolutionized electronics and the way of designing, building new technologies in the military area in different fields. Global combat shooting training have begun to develop new training methods, equipping with modern technology to improve the reaction, accuracy and training of military units. The Plurinational State of Bolivia, the Armed Forces, have special operational units for different types of training, they have ranges for combat shooting training and weapons to carry out the practice, but they are outdated in the shooting area due to lack of new technologies that help. In order to modernize combat shooting training, avoiding rustic training and innovating with new technologies within the area, equipping the ranges with mobile folding target technology.

### KEYWORDS

Mechatronic System, Mobile folding Targets, Combat Shooting

## INTRODUCCIÓN

El personal militar requiere mantener una capacitación constante y óptima en la práctica de tiro, misma que no siempre es posible de realizar por carecer de un polígono o por no ser este automatizado. En el Colegio Militar del Ejército Cnel. Gualberto Villarroel López, de la ciudad de La Paz, se encuentra un polígono con un sistema mecánico no automatizado, en el cual se realizan entrenamientos de tiro de combate. Actualmente la instalación no se encuentra en buenas condiciones para realizar dicho entrenamiento.

Por otro lado, la Escuela Militar de Ingeniería, Unidad Académica Santa Cruz, EMI-UASC, cuenta con un polígono de tiro virtual instalado el 14 de noviembre del 2020, en el cual todos los estudiantes de la Escuela realizan sus prácticas de tiro de manera constante. Debido a esto se han empezado a desarrollar proyectos dedicados a la capacitación de la práctica de tiro, no solo para los estudiantes de la EMI-UASC, sino también para el personal de cuadros de las fuerzas armadas. Con esta finalidad, se pretende desarrollar un sistema que permita ejecutar las prácticas de tiro de combate mejorando la destreza y reacción del personal y estudiantes. (Torrico, 2021).

En el año 2016 la Escuela de Infantería, de la Armada de la Infantería del Ejército Argentino, adquirió un Sistema Portátil de blanco abatibles móviles para evolucionar el planeamiento y ejecución de la práctica de tiro, que se desarrolla en cursos regulares y complementarios (INFANTE, 2019). Es un sistema portátil de traslación automática de bastidores, diseñado para entrenamiento militar en prácticas de tiro a blancos móviles.

## DESARROLLO

Se analizaron los diferentes parámetros físicos y técnicos que se presentan en las prácticas de tiro durante el periodo de instrucción de entrenamiento de tiro. Algunas de estas prácticas requieren cumplir diferentes normas con total seguridad. Algunas de estas son:

- Estar alejado de ciudades, mínimo 10 km a la redonda.
- Contar con áreas geográficas adecuadas.

El polígono debe estar preparado con obstáculos para disparar a diferentes distancias, distintas posiciones, cualquier terreno de instrucción, con variedad de accidentes geográficos, o en el mismo polígono de 300 a 500 m de largo, con obstáculos como:

- Posiciones organizadas o zanjas para disparar de pie a 50 metros.
- Muros de 80 y 100 cm para disparar de rodilla a 100 metros.
- Matorrales para tiro de sentado o cuclillas a 50 metros.
- Troncos o árboles para disparar de pie con apoyo a 100 metros.
- Hogueras de leña o de otro material inflamable que impida el avance del proyectil.
- Colocación de blancos escalonados cada 50 o 100 metros.

Cada tirador deberá conservar su carril para evitar cruzamientos y accidentes.

El tirador de cada obstáculo dispara a la silueta más próxima dentro su carril.

En base a las características de los fusiles más utilizados en la práctica de tiro, FAL 762 y AK-47, se seleccionó el tipo de plancha de acero, de entre 5,7 mm y 10,7 mm, que evita que el proyectil traspase la silueta.

Se determinó las dimensiones y tipos de blancos a ser utilizados: Siluetas "C" y "D" Estas siluetas corresponden a las posiciones de tendido, rodillas y de pie, respectivamente.



Figura 1. Silueta tipo "C"



Figura 2. Silueta tipo "D"

El esquema de funcionamiento general del sistema de blancos se muestra en la figura 3.

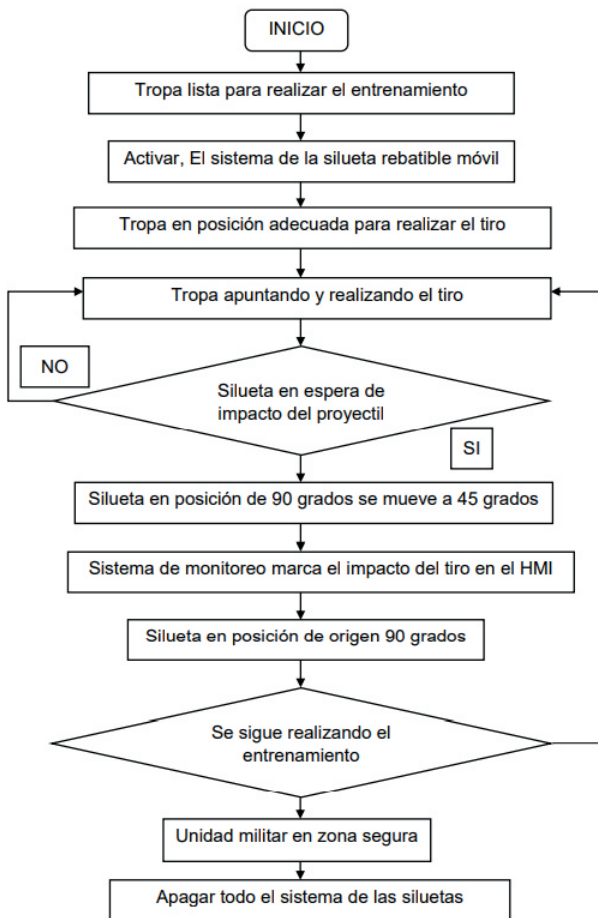


Figura 3: Esquema general de funcionamiento

Se realizó el pesaje de todos los componentes mecánicos y electrónicos con la finalidad de tener las constantes para la elección del material de la base que soporta el peso total del sistema.

Los componentes mecánicos y electrónicos del sistema tienen un peso en el eje vertical de 6,4 kg, en el eje horizontal de 13,8 kg, siendo el peso total del sistema de 20,2 kg. Para el tipo de acero utilizado, la resistencia a la tracción es de 4080 Kg, por lo tanto, el peso total de los componentes da una estabilidad y durabilidad muy alta ante movimiento y efectos de impacto.

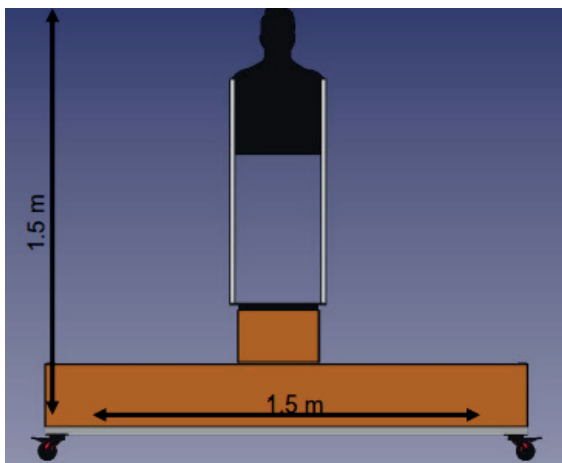


Figura 4: Diseño total de la silueta

Se diseñó y construyó una base metálica con ruedas que soporta el peso del blanco, con angulares de 2 x 2 in con un grosor de 3 mm, dando como resultado una estructura rígida de 9.8 Kg. El peso del blanco más la base es de 29,9 Kg.

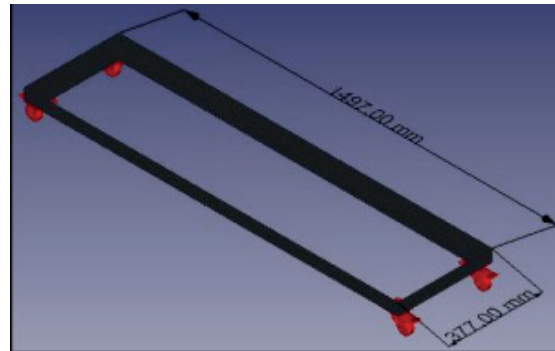


Figura 5: Diseño de la base del Blanco móvil

Para el eje vertical se determina, en base al peso de 62,72 N, una capacidad sobrante de carga 1,36 kN, que permite seleccionar el rodamiento LME16UU, que permite estabilidad en movimientos lineales.

Utilizando el mismo peso vertical, 62,72 N, la distancia entre ejes, 1,5 m, y el momento de resistencia de la sección circular de 16 mm, se obtuvo la resistencia a la tracción del eje vertical de 233,96 MPa, debajo de los 363 MPa del eje vertical utilizado.

Los soportes para los rodamientos lineales son importantes para el proyecto porque ayudan a sostener los rodamientos y poder implementar la base encima que sostenga el sistema de la silueta. El soporte para rodamiento de 16 mm no se encuentra a la venta en Santa Cruz, Bolivia, por lo que se diseñó el soporte en la aplicación Solidworks con las siguientes características:

Tabla 1. Rodamiento Base LME16UU

Especificación	Características
Material	Aluminio
Masa, g	75
Altura, mm	38
Base, mm	50
Profundidad, mm	44
Diámetro interno, mm	16
Tornillos	M5

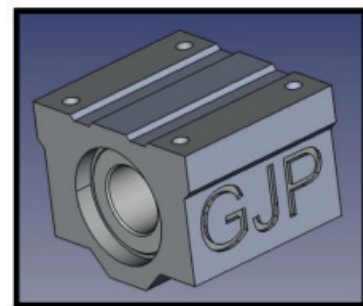


Figura 6: Base diseñado en Solidworks

Con el peso del eje vertical de 6,4 N, la distancia de recorrido de la silueta de 1,5 m, el tiempo en que la silueta recorre esa distancia, 3,5 s y la cantidad obtenida de 17 RPM se selecciona el motor Nema 34 STRIPPER que es un motor paso a paso,

que permite controlar con precisión la distancia y velocidad cambiando el número de pulsos y sus frecuencias.

La potencia que necesita un motor para realizar el movimiento en vertical con el peso de la silueta de 2.3 Kg, la distancia de caída de 0.13 m y el tiempo utilizado para caer y levantarse de 2 s, es de 1,5 W siendo seleccionado el motor NEMA 34 que tiene una potencia de 11 W.

El variador digital de pasos DM556T es la opción ideal para aplicaciones que requiere un control simple de paso y dirección de motores paso a paso NEMA 34. Es capaz de alimentar motores paso a paso de 2 y 4 fases con un par óptimo y bajo ruido y calentamiento del motor, su voltaje de funcionamiento es de 20-50 V CC y genera una corriente de hasta 5,6 A. El micro paso y la corriente de salida se realizan mediante interruptores DIP.

Con los datos obtenido del motor de 17 RPM y con dato referencial de 32 dientes en la estrella para no perder velocidad y aceleración al realizar la transmisión lineal, se calcula que la segunda estrella debe tener también 32 dientes.

Con el eje del motor NEMA34 de 14 mm, estrellas de 32 dientes del conductor y conducido, una cadena con un paso de 1/2 in y la distancia entre los dos ejes es 60 se calcula la longitud de la cadena: 3,5 metros. La cadena tiene como realizar el movimiento horizontal a través del motor paso a paso, colocado en el piñón. En el circuito de entrada se selecciona el módulo sensor de impacto KY-031 que detectará el impacto del proyectil en la silueta movable, mandando una señal al circuito, alterando el movimiento en el motor paso a paso.

Se seleccionó el sensor de final de carrera end-stop V1.2 para ser conectado a un puerto de 4 pines: 2 son para GND, otro para la señal del final de carrera y el último para la alimentación. Las placas tienen un LED que se enciende cuando es pulsado. El sensor limita el recorrido de la silueta movable, mandando una señal provocando movimientos en el motor paso a paso. Los sensores están ubicados en cada extremo de la silueta provocando movimientos de izquierda a derecha.

Se utilizó la fuente LED BOX DC 24 V/ 200 W / 8.25 cuyo consumo es de 7,75 A y de 181,4 W de potencia.

Un entrenamiento normal de tiro dura una hora y treinta minutos, mientras que el tiempo de funcionamiento del sistema de siluetas es aproximadamente de 2 horas. La batería Dream Power 12 V, 7 Ah, cumple con el requisito para el funcionamiento del sistema. Se usan dos baterías en serie ya que se requieren 24 voltios para el sistema de siluetas.

Se utilizó una computadora Intel Core i5-1135G7 que tiene las características necesarias para controlar el sistema de las siluetas abatibles móviles.

El ESP32 IOT WIFI BLUETOOTH es un microcontrolador para proyectos IoT. Es un módulo ESP-WROOM 32 Dual Core, con comunicación de MCU, Wifi y Bluetooth, con dos vías de alimentación de voltaje: por USB y una batería externa de 3,7 V. La batería se puede cargar también por medio del cable USB.

Se seleccionó una RASPBERRY PI 3 B debido a su conectividad LAN inalámbrica y Bluetooth, de bajo consumo y con administración de energía mejorada que permite trabajar con dispositivos USB externos pudiendo ser cargados con fuentes de hasta 2,5 A.

Para la elaboración de las partes diseñadas en 3D de las siluetas abatibles móviles se utilizó un filamento poliéster de glicol, PETG.

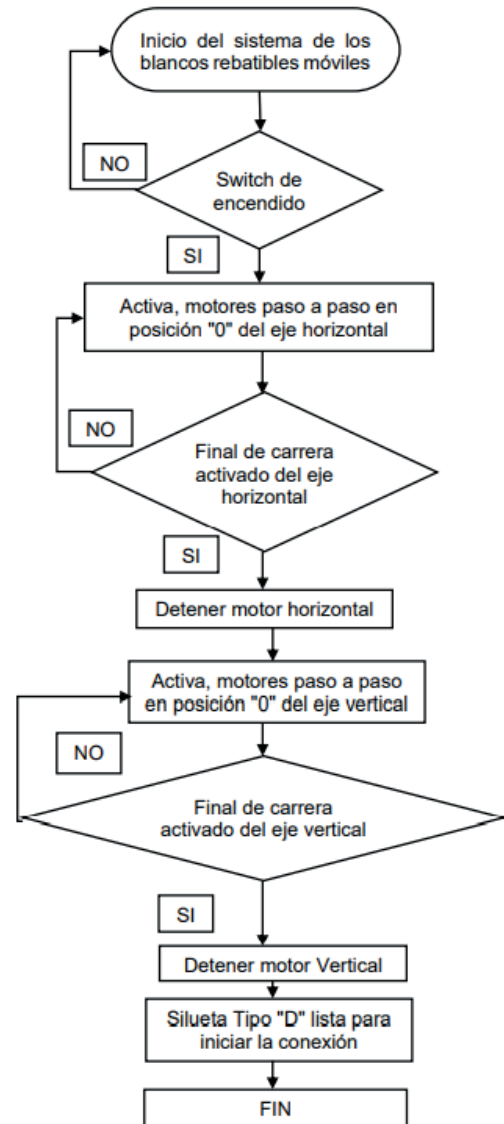


Figura 7. Diagrama de flujo general de funcionamiento del Inicio del sistema de las siluetas.

El sistema de control cuenta con una etapa de sensores, una etapa de control y una etapa de actuadores, los sensores son dispositivos mecánicos *on-off* que internamente tiene un resorte y un eje donde se realiza la conexión al recibir el circuito de acondicionamiento de los sensores una señal de voltaje, este circuito aísla la etapa de entrada de los sensores con la etapa de control así existe una conexión segura de sensores y controlador de la misma forma con la etapa de finales de carrera. La silueta en la etapa de control de motores cuenta con *drivers* de motores paso a paso, con la ventaja de que este controlador cuenta con pines de control opto acoplados, al igual que la misma manera de los sensores, existe un aislamiento y acondicionamiento con la etapa de control quiere decir que el controlador funcionara de manera muy fiable ante cualquier peligro de corto circuito o de sobretensión y sobre corriente, por lo tanto, el sistema tendrá un amplio tiempo de funcionamiento seguro.

Las figuras 7, 8 y 9 muestra el diagrama de flujo general de funcionamiento.

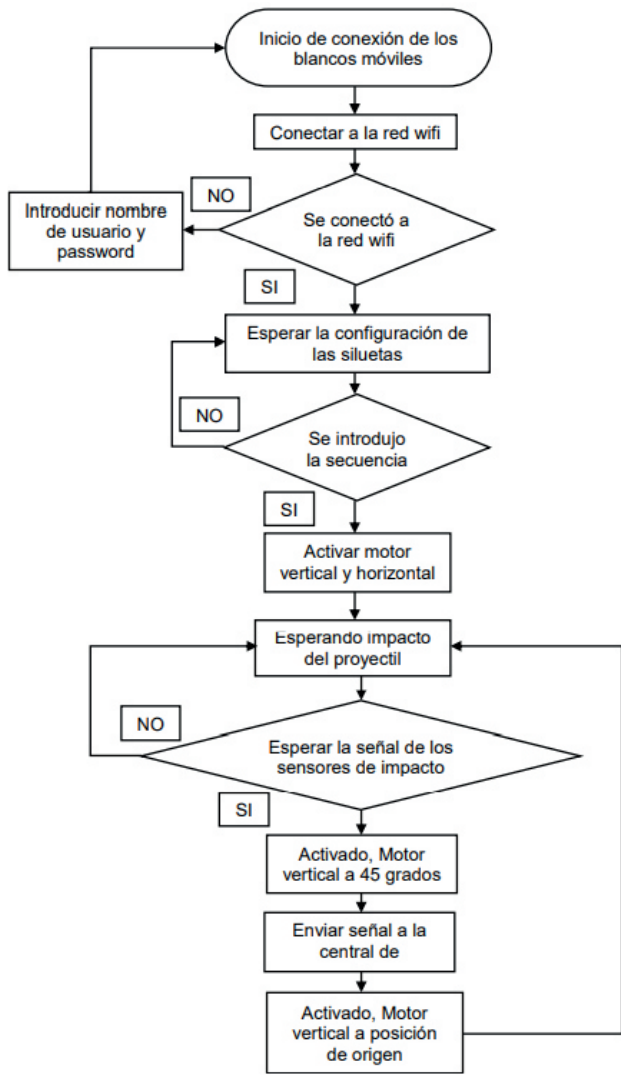


Figura 8. Diagrama de flujo de enlace y comunicación de las siluetas

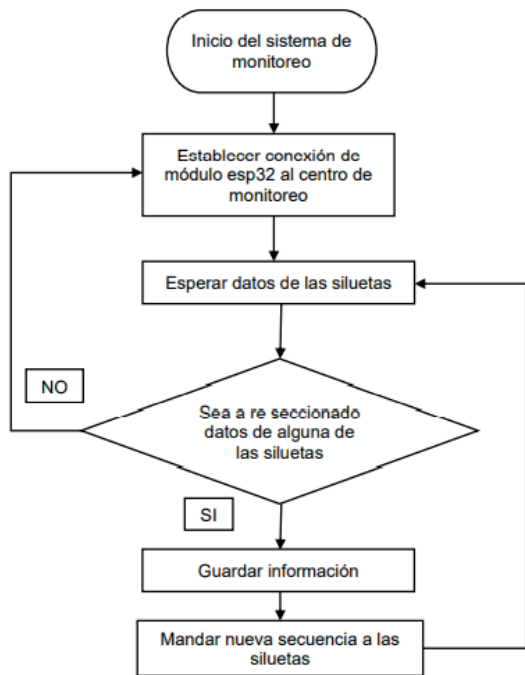


Figura 9. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de las siluetas

Sensor de entrada pull-up para obtener una señal de estado bajo cuando se detecta algún impacto. El circuito de sensores de impacto tiene 3 terminales de conexión conectadas directamente al circuito de acoplamiento de sensores con alimentación de 5 voltios y una señal GND, obteniendo una señal digital de 5 o 0 voltios.

El sensor de final de carrera está alimentado con 5 voltios DC, tiene una salida digital de 0 voltios a 5 voltios cuya señal llega al controlador a través de un circuito de acondicionamiento de señal, con una resistencia de 10 K pull-up, para conmutación de los cambios de estado; un capacitor de 100 nF para filtrar y tener una señal estable, un LED indicador que permite observar el estado del sensor y detectar cualquier fallo del switch mecánico. El LED tiene una resistencia de 1 k para limitar la corriente en la saturación.

El circuito de acondicionamiento de sensores es muy importante porque va a proteger el controlador ante cualquier peligro eléctrico y consta de un circuito opto acoplador PC817 que internamente tiene un diodo infrarrojo y fototransistor al saturar el diodo la base del transistor que es sensible a la luz, satura el transistor y entra en conducción de colector a emisor es decir tiene una salida de nivel bajo cuando el diodo está energizado y cuando el diodo no está energizado tiene una salida digital de nivel alto este circuito tiene aislamiento de la etapa de alto voltaje 24 voltios con la etapa de control de 5 voltios.

El circuito de acondicionamiento para el sensor de final de carrera puede detener el funcionamiento del motor paso a paso, guardando la información como posición inicial. La bornera de 3 pines tiene una resistencia de 680 ohm para limitar la corriente de saturación del diodo.

El consumo de los sensores y dispositivos de acondicionamiento es de 200 mA.

El circuito de control cuenta con una etapa de comunicación USB serial basado en el chip CP2104, que permite depurar el programa, una comunicación serial cuando no exista comunicación inalámbrica. Su voltaje es de 1,8 a 3,3 voltios, corriente de 15 mA y cuenta con un puerto micro USB.

El controlador se basa en un chip ESP32 que permite comunicación inalámbrica por medio de Wifi y Bluetooth al router para enlazar al centro de monitoreo. Cuenta con transistores 2N2222 con encapsulado SMD para realizar un auto reset. También tiene un revisor de tensión para medir el estado de la batería.

Tabla. 2. Distribución de pines ESP32

Pines	Conexión
VBAT,1	Circuito regulador AP2112-33 3,3 voltios
EN,2	Botón de flash o programación
VBUS, 3	Circuito regulador AP2112-333,3 voltios
IO13_A12	Entrada de sensor de impacto 1
IO12_A11	Entrada de sensor de impacto 2
IO27_A10	Entrada de sensor de impacto 3
IO33_A9	Entrada de sensor de impacto 4



Tabla. 2. Distribución de pines ESP32

Pines	Conexión
IO15_A8	Entrada de sensor de final de carrera vertical
IO32_A7	Entrada de sensor de final de carrera horizontal 1
IO14_A6	Entrada de sensor de final de carrera horizontal 2
A0_DAC2	Habilitación de drivers de motor horizontal
A1_DAC1	Habilitación de drivers de motor vertical
A2_I34	Pulso de velocidad de drivers de motor horizontal
A3_I39	Pulso de velocidad de drivers de motor vertical
A4_IO36	Dirección de giro para drivers de motor horizontal
A5_IO4	Dirección de giro para drivers de motor horizontal

La alimentación cuenta con un regulador de 3,3 voltios 500 mA, un diodo para protección de polaridad inversa MVR120, un circuito de respaldo mosfet de MG3415. El pin de reset cuenta con un switch y una resistencia de 10 k pull-up. Este botón es importante para cuando existe una falla eléctrica o mecánica y es necesario reiniciar el sistema.

El circuito de control de motores cuenta con señales opto acopladas conectados al módulo ESP32, por ende, existe un aislamiento entre la etapa de control y la etapa de potencia, los drivers de motores paso a paso están energizados con 24 voltios, tensión suficiente para un torque de 56 kg/m, necesario para mover los mecanismos de piñón cadena y base móvil del eje horizontal, base fija del eje vertical.

La cantidad de corriente que requiere en la etapa de potencia es de 7,55 A.

Se diseñó el regulador Step Down, que energiza toda la etapa de sensores y controladores, con un circuito LM2595, regulable de 24 a 5 voltios, que es la tensión de funcionamiento de sensores y módulo ESP32.

Se diseñó el circuito de carga con una fuente de 24 voltios para energizar los motores y el driver.

La potencia total del sistema es de 0,2 W para los sensores y 181,2 W para los actuadores, dando una potencia total de 181,4 W. Siendo la corriente de 7,75 A y las dos horas de las rutinas de tiro, la energía requerida es de 15,5 Ah. Por lo que las baterías de 16 Ah proporcionan energía por 2,06 horas, dando al sistema una autonomía de funcionamiento de 2 horas para la duración del entrenamiento.

En el diseño del circuito de carga y protección de baterías el voltaje de alimentación de 220 V AC se regula en un transformador a 18 V AC, pasando por un puente de diodos, obteniendo 24 V de tensión pulsante en el semiciclo positivo, ideal para cargar este tipo de baterías. Además, un circuito de protección con un diodo Zener de 24 V limita la sobre tensión de las baterías, protegiendo el circuito de una sobrecarga y alargando la vida útil de la batería.

Entre la silueta y el sistema de monitoreo se cuenta con un router, con un alcance de 100 metros a la redonda que está dentro del rango del perímetro del ejercicio de tiro.

La velocidad y temperatura del motor son medidas por el controlador para una toma de decisión cuando exista alguna relación entre la tensión y el calentamiento del motor.

Sin importar el número de sensores en el área de impacto, al estar los sensores en paralelo, el área es detectada con un bucle de interrupción, el final de carrera cambia de estado y el motor se detiene.

## DISCUSIÓN

En el diseño de un sistema mecatrónico de blancos abatibles móviles para entrenamiento militar de tiro de combate destinado a unidades operativas especiales se analizaron aspectos como la tecnología, escalabilidad, vida útil, tiempo de procedimientos, funcionalidad. Se establecieron las variables físicas directamente relacionadas con el proceso de las siluetas abatibles móviles, permitiendo la selección de sensores y actuadores técnicamente más adecuados. Se dimensionaron los componentes mecatrónicos de los blancos abatibles móviles, aplicando diferentes cálculos según los datos obtenidos, se evaluó cada elemento mecánico y electrónico del sistema de blancos, se determinó el grosor de plancha que se necesita para diferente tipo de arma, se diseñaron piezas en 3D para ayudar al sistema de siluetas. Se diseñó el sistema de control y monitoreo utilizando aplicaciones de diseño y programación, permitiendo controlar las diferentes variables como velocidad en los motores, aceleración del motor al momento de iniciar y finalizar el recorrido en el eje horizontal, torque que se necesita para soportar mover el peso de la silueta, posición y precisión en los movimientos verticales de la silueta, donde se utiliza una interfaz creada en LabVIEW.

Se determinó la interacción entre las variables físicas detectada en cada etapa y los respectivos actuadores, de tal manera que el proceso pueda ser automático o realizado por un operador de forma remota, evitando cualquier probabilidad de riesgo personal. Asimismo, se implementó un sistema de monitoreo con el entorno de desarrollo integrado LabVIEW.

Los dispositivos de control están basados en arquitectura Espressif Systems Processor, ESP, los cuales son implementados en las tarjetas de entrenamiento ESP32, Wifi y Bluetooth, teniendo extensas librerías e instrucciones para la programación de dichos dispositivos, lo cual permitirá poder mejorar y configurar el funcionamiento, variar tiempos de movimientos y de velocidad de las siluetas, ya resultan de fácil configuración y conexión. El monitoreo y control inalámbrico está basado en una conexión Wifi con las normas y protocolos de conexión de esta tecnología.

Al ser un sistema flexible se puede agregar más siluetas y realizar el control de todas de manera simultánea al tener una red wifi de área local. Permite también ser conectado a internet y poder controlar, monitorear, en un sitio remoto. Al ser un diseño con elementos mecánicos proporcional se puede escalar a mayor dimensión en los ejes horizontal y vertical, modificando simplemente la distancia de los ejes y aumentando la distancia de la transmisión piñón cadena. De igual forma en el eje vertical se puede aumentar el tamaño de la silueta y adaptar a los otros tipos de siluetas que existen o que son requeridas.

El sistema brinda mejor seguridad al operador porque en las etapas de control y monitoreo no tienen que intervenir de manera manual para controlar o mover las siluetas, con lo que se evita riesgos de accidentes. El sistema es seguro por contar con un acondicionamiento eléctrico en las partes más importantes

del sistema de control automático, que son etapa de sensores y actuadores. También el sistema de monitoreo está diseñado con unas alertas de visualización por si existiera alguna falla en el sistema de la silueta.

## REFERENCIAS

- BARRIOS, L. (2014). Interfaces Hombres - Maquina. Asuncion: Pazi.
- INFANTE, E. (04 de Septiembre de 2019). INFANTERIA. Obtenido de INFANTERIA: <https://www.infanteria.com.ar/sistema-para-blancos-moviles-tirotec/> López, R. (05 de Agosto de 2009).
- REPOSITORIO INSTITUCIONAL. Obtenido de Repositorio Institucional: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5235>
- MARES, J. (2014). Sensores y Actuadores. Santiago: Patria. McGraw-Hill. (2015). Máquinas y mecanismos. Bogota: Unided.
- MENDIETA, J. (2010). MANUAL MICROLADDER. Santiago: DAGEL. Mott., R. L. (2009). Resistencia de materiales. En R. L. Mott., Resistencia de materiales R.I.T. (2012).
- RAMOS, M. (2017). Pantallas LCD. Sevilla: Patria.
- RINGEGNI, I. P. (2018). Mecanismos y elementos de maquinas. Buenos Aires: New.
- SANTOSTEFANO, C. A. (1 de Octubre de 2016). 164 - 166 Saona Domínguez, M. (2014). Diseño y construcción de un sistema mecatrónico. Quito:
- TORRICO, J. E. (2 de julio de 2021). Colegio Militar. (G. Joaniquina Poma, Entrevistador)
- VITOR, E. (2016). Controladores Industriales Inteligentes. bogota: PAC.
- WILL, E. (2016). Galeria de tiro. New York: Seguridad Ciudadana.

### CITA

