



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Sistema automático de conteo de lanzamientos para tiro deportivo

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

**Ajila Ajila Luis Alberto
Rodas Parra Edwin Marcelo**

Director:

Mgr. Daniel Capelo

CUENCA, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

”Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental a lo largo de mi formación académica, brindándome apoyo incondicional, motivación constante y confianza en cada etapa de este proceso. A mis padres, por su esfuerzo y sacrificio, que han hecho posible la consecución de este logro, y por inculcarme valores que han guiado mi camino. También dedico este trabajo a mi pareja y a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional.”

DEDICATORIA

”El presente trabajo está dedicado a mis padres y familiares, pilares fundamentales en mi camino académico. Su apoyo incondicional y fe en mis capacidades hicieron posible la culminación de esta etapa. A todos aquellos que formaron parte de mi proceso formativo, gracias por su invaluable aporte a mi vida profesional.”

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento primero a Dios por brindarme la oportunidad de día a día aprender, superarme y lograr cada una de mis metas que me he propuesto, a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este proyecto. A mi tutor de tesis, por su guía, conocimientos y acompañamiento durante todo el proceso, los cuales fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. Asimismo, agradezco a mis padres Marcelo Rodas y Yolanda Parra, a mis hermanos y a mi pareja Karina Gastessi por su apoyo constante y motivación, así como a mis compañeros, amigos y familia que brindaron su colaboración y aportes en distintas etapas del trayecto universitario. Finalmente, agradezco a la Universidad del Azuay por proporcionarme los recursos y el entorno académico necesario para llevar a cabo este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universidad del Azuay por ser mi casa de estudios y brindarme las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional. De manera especial, expreso mi gratitud a mi tutor, por su invaluable guía, su tiempo y sus acertadas correcciones, las cuales fueron fundamentales para la culminación de este proyecto. A los profesores de la facultad, por compartir sus conocimientos y despertar mi interés en esta área de investigación. Asimismo, agradezco a Johny Ortega por su respaldo en mi proceso de estudio. Más allá de lo académico, su apoyo me permitió mantener la motivación en los momentos de mayor exigencia. Gracias por ser parte del crecimiento personal y profesional que este proceso representó para mí. Finalmente, agradezco a mi familia por su comprensión y apoyo constante durante los meses de arduo trabajo que requirió esta tesis.

SISTEMA AUTOMATICO DE CONTEO DE LANZAMIENTOS PARA TIRO DEPORTIVO

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema automático de conteo de lanzamientos para tiro deportivo, orientado a mejorar la precisión, confiabilidad y transparencia en el registro de disparos durante entrenamientos y competiciones. El sistema integra un PLC, un microcontrolador, tecnología RFID y un enfoque de doble sensor basado en un sensor de fin de carrera y un acelerómetro, con el fin de garantizar una detección robusta de cada evento de lanzamiento. Se aplican técnicas de procesamiento de señales, como el ventaneo y la Transformada Rápida de Fourier (FFT), para analizar el comportamiento dinámico del sistema y validar la detección tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Las pruebas experimentales realizadas en condiciones reales incluyendo movimientos durante el traslado de la máquina, impactos externos y lanzamientos reales demuestran alta precisión, eliminación de falsos positivos y un desempeño confiable. El sistema propuesto mejora significativamente la trazabilidad de los datos y el control operativo frente a métodos manuales tradicionales.

Palabras clave: Conteo digital, Conteo de lanzamientos, FFT, RFID, Tiro olímpico.

AUTOMATIC SHOT-COUNTING SYSTEM FOR SPORT SHOOTING

This paper presents the design and implementation of an automatic shot-counting system for sport shooting, aimed at improving accuracy, reliability, and transparency in shot registration during training sessions and competitions. The system integrates a PLC, microcontroller, RFID technology, and a dual-sensor approach based on a limit switch and an accelerometer to ensure a robust detection of each launch event. Signal processing techniques, including windowing and Fast Fourier Transform (FFT), are applied in order to analyze the dynamic behavior of the system and validate the shot detection through both time and frequency domains. Experimental tests developed under real operating conditions including machine movement, external impacts, and actual launches demonstrate high precision, non-appearance of false positives, and reliable performance. The proposed system significantly enhances data traceability and operational control compared to traditional manual methods.

Keywords: Digital counting, FFT, Olympic shooting, Pitch count, RFID.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	ix
I Introducción	1
I-A Estado del Arte	1
I-B Justificación	2
II Metodología	3
II-A Selección de método de diseño y montaje	3
II-A1 Inicialización del sistema RFID	4
II-A2 Validación de la tarjeta	4
II-A3 Integración con el sistema de lanzamiento	4
II-A4 Selección de los sensores para la detección de lanzamientos	5
III Ejecución de pruebas	6
III-A Prueba 1: Funcionamiento normal con lanzamiento de discos	6
III-B Prueba 2: Movimiento de la máquina	7
III-C Prueba 3: Impacto externo sobre la máquina	7
IV Validación de Resultados	7
IV-A Lanzamiento de discos	8
IV-B Movimientos a la máquina	8
IV-C Golpes sobre la máquina	9
V Conclusiones	9
V-1 Recomendaciones para futuras mejoras	10
References	10

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Sistema de Tiro	3
2	Función RFID	3
3	Validación	4
4	PLC-Maquina	4
5	Ubicación Sensores	5
6	Lanzamiento de disco	7
7	Movimiento de la máquina	7
8	Impacto sobre la máquina	7
9	Lanzamiento	8
10	Movimientos a la máquina	9
11	Golpes en la máquina	9

ÍNDICE DE TABLAS

I	Ejecución de pruebas del sistema	7
---	--	---

Sistema Automático de Conteo de Lanzamientos Para Tiro Deportivo

1st Luis Ajila

Escuela de Ingeniería Electronica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
75320@es.uazuay.edu.ec

2nd Edwin Rodas

Escuela de Ingeniería Electronica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
rodasedwin99@es.uazuay.edu.ec

Abstract—This paper presents the design and implementation of an automatic shot-counting system for sport shooting, aimed at improving accuracy, reliability, and transparency in shot registration during training sessions and competitions. The system integrates a PLC, microcontroller, RFID technology, and a dual-sensor approach based on a limit switch and an accelerometer to ensure a robust detection of each launch event. Signal processing techniques, including windowing and Fast Fourier Transform (FFT), are applied in order to analyze the dynamic behavior of the system and validate the shot detection through both time and frequency domains. Experimental tests developed under real operating conditions including machine movement, external impacts, and actual launches demonstrate high precision, non-appearance of false positives, and reliable performance. The proposed system significantly enhances data traceability and operational control compared to traditional manual methods.

Index Terms—Digital counting, FFT, Olympic shooting, Pitch count, RFID.

I. INTRODUCCIÓN

El tiro deportivo es una disciplina que exige altos niveles de precisión, control y registro técnico para garantizar un proceso de entrenamiento eficiente y competencias confiables. En numerosos clubes y federaciones, el conteo de disparos aún se realiza mediante métodos manuales, como anotaciones en papel o registros verbales, lo que incrementa la probabilidad de errores humanos y limita la trazabilidad de los datos [1]. Estas deficiencias se vuelven más evidentes en escenarios con múltiples usuarios, diversas categorías y elevado volumen de lanzamientos, afectando tanto la gestión administrativa como la transparencia en los resultados. En Ecuador, el crecimiento sostenido de la práctica del tiro deportivo y la participación de atletas en eventos nacionales e internacionales evidencian la necesidad de adoptar soluciones tecnológicas que optimicen los procesos de control, registro y supervisión [2]. La ausencia de sistemas automáticos no solo dificulta el seguimiento preciso del rendimiento de los deportistas, sino que también genera inconsistencias en el uso de los recursos, incertidumbre en los reportes de disparos y limitaciones operativas dentro de los clubes, ante esta problemática, surge la oportunidad de implementar herramientas basadas en automatización y electrónica avanzada que permitan modernizar el conteo de

lanzamientos. Tecnologías como los controladores lógicos programables (PLC), microcontroladores, identificación por radiofrecuencia (RFID) y sensores especializados ofrecen un camino viable para garantizar un registro fiable, seguro y en tiempo real. Estos sistemas permiten asociar cada disparo a un usuario, mejorar la precisión del conteo, evitar manipulaciones o discrepancias y generar información útil para procesos administrativos y deportivos.

El desarrollo de un sistema automático de conteo de lanzamientos representa un avance significativo para la gestión del tiro deportivo, al proporcionar datos precisos, reducir los errores humanos y fortalecer la transparencia en la disciplina. Además, sienta las bases para futuras mejoras tecnológicas orientadas a optimizar entrenamientos, controlar el uso de equipamiento y apoyar la toma de decisiones basada en información verificada.

A. Estado del Arte

De manera inicial, en [3] se plantea la importancia de contar con un registro exacto y confiable de los disparos realizados, con el fin de reducir los costos asociados al uso de rifles de competición a lo largo de su vida útil, sin comprometer su desempeño. Para ello, los autores proponen la implementación de un sistema automatizado que permita monitorear el número de disparos efectuados. En este contexto, el estudio introduce el uso de la técnica de emisión acústica como una alternativa innovadora para la detección e identificación de disparos, basándose exclusivamente en el análisis de las características de las señales de Emisión Acústica (EA).

En [4], los autores proponen el desarrollo de una plataforma de datos integrada orientada a mejorar el entrenamiento en el tiro deportivo desde una perspectiva más completa y precisa. Esta plataforma combina diferentes tipos de información relacionados con el rendimiento del atleta, como los tiempos de reacción manual, tiempos de respuesta durante el disparo, seguimiento ocular, análisis de video y datos biomecánicos. Para gestionar esta información, se emplea un sistema distribuido basado en Elasticsearch (ES), que permite la sincronización y el análisis eficiente de los datos. Gracias a esta integración, es posible obtener una visión más detallada del estado de entrenamiento y de las

diferencias individuales entre los deportistas, brindando a los entrenadores herramientas de apoyo fundamentadas en datos. Adicionalmente, el sistema incorpora un mecanismo de recuperación ante fallos mediante la sincronización de clústeres de Elasticsearch junto con una base de datos MySQL, garantizando así la disponibilidad y seguridad de la información.

Los autores de [5] analizan que el desequilibrio del rotor es la principal causa de vibración en las máquinas, lo que reduce su vida útil. Este artículo usa el análisis en el dominio de la frecuencia para identificar eventos de percusión (golpes) que se encuentran inmersos dentro de señales formadas de muchos más componentes. Este trabajo valida las técnicas de transformación de dominio del tiempo al dominio de la frecuencia para encontrar información y separarla en eventos diferentes, con lo cual se identifican percusiones que no deberían estar si hubiera un funcionamiento correcto. A partir de señales de vibración y su transformación con la transformada rápida de Fourier (FFT) se analiza el espectro de frecuencia que será uno para un motor sano y uno diferente para un motor con fallas, siendo la diferencia, los picos presentes por percusiones ocasionadas por las fallas. Estos resultados experimentales confirman que FFT sirve como una buena herramienta para la detección y el diagnóstico de fallas en línea de máquinas rotativas.

En [6], desarrollan y validan un sistema inteligente de bajo costo basado en tecnologías IoT (*Internet of Things*), orientado a la gestión de campos de tiro con características similares a las configuraciones oficiales de la Federación Internacional de Tiro Deportivo (ISSF). Este sistema permite adaptarse a distintos esquemas de blancos comúnmente utilizados en competiciones, ofreciendo flexibilidad en su configuración. La propuesta facilita al administrador la posibilidad de ajustar diferentes disposiciones de tiro mediante el uso de una red inalámbrica económica, lo que reduce considerablemente los costos frente a soluciones tradicionales. El prototipo integra funcionalidades avanzadas comparables con los equipos oficiales de la ISSF, incorporando además ventajas como la portabilidad. Finalmente, se presenta tanto el diseño como la implementación del sistema, junto con una evaluación enfocada en demostrar su facilidad de transporte y su contribución a mejorar la experiencia en el tiro deportivo.

El estudio [7] propone un enfoque para la detección de firmas de vibración en motores eléctricos mediante el uso de sensores capacitivos basados en tecnología MEMS. En este trabajo se plantea un esquema de sensores redundantes con el fin de mejorar la precisión en la identificación de vibraciones, el cual puede ser implementado en sistemas de monitoreo inalámbrico para maquinaria eléctrica. Los resultados obtenidos evidencian la efectividad del método en la supervisión de vibraciones en máquinas rotativas. Asimismo, se destaca el avance en el desarrollo de acelerómetros MEMS,

los cuales ofrecen características favorables como bajo costo, tamaño reducido y bajo consumo energético, además de su facilidad de uso e integración en entornos exigentes. Estas ventajas posicionan a dicha tecnología como una alternativa prometedora para aplicaciones de detección inteligente de vibraciones, especialmente en motores eléctricos.

Los autores de [8], desarrollan un entorno virtual en forma de videojuego orientado al entrenamiento y práctica del tiro deportivo paralímpico. La propuesta se basa en un sistema de análisis digital de imágenes que emplea técnicas de adquisición y procesamiento para interpretar la información visual. La captura de imágenes se realiza mediante una cámara web conectada al software, el cual procesa los datos en formato matricial y presenta los resultados de manera interactiva dentro de la interfaz del juego. Los resultados del estudio demuestran que es factible integrar herramientas de programación en MATLAB junto con técnicas de procesamiento de imágenes para implementar una solución de entrenamiento que simule de forma efectiva la práctica del tiro deportivo paralímpico.

B. Justificación

La implementación de un sistema automático para contar lanzamientos en el tiro deportivo trae consigo varios desafíos importantes que hay que superar para asegurar su efectividad y aceptación en el mundo del deporte. Primero, la complejidad técnica que implica diseñar e integrar los componentes necesarios, como PLC (Controlador Lógico Programable), microcontroladores y tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia), puede ser un verdadero obstáculo para lograr una implementación exitosa. La compatibilidad entre estos sistemas y la programación adecuada para que funcionen en conjunto son aspectos críticos que requieren de un conocimiento especializado. Según [9] existen deficiencias importantes en la gestión de los clubes y federaciones, que se agravan al aumentar el número de usuarios y competencias. Muchos clubes utilizan registros en papel o de forma verbal para contabilizar disparos y entrenamientos, un método propenso a errores humanos, especialmente en torneos con múltiples categorías y gran cantidad de participantes. En Ecuador, el tiro deportivo es una disciplina con presencia creciente, evidenciada por la participación de más de 150 atletas internacionales en eventos nacionales, así como por la existencia de diversos clubes federados en diferentes provincias con un rango aproximado de 25 a 45 miembros cada uno. La falta de sistemas automatizados también genera problemas de transparencia en el uso de recursos. No existen datos confiables sobre la correspondencia entre disparos autorizados y disparos efectivamente realizados, lo cual puede ocasionar pérdidas económicas para los clubes y discrepancias administrativas entre deportistas y entrenadores.

En el ámbito competitivo, la precisión en el registro es esencial. Durante torneos nacionales e internacionales,

cualquier error en el conteo de disparos o en la asignación de turnos afecta directamente la credibilidad de los resultados y de las organizaciones encargadas, como se observa en campeonatos donde participan delegaciones de distintas provincias y categorías, de acuerdo a [10].

La implementación de un sistema automático de conteo de lanzamientos en el tiro deportivo como se puede observar en la Fig 1. Se justifica principalmente por la necesidad de optimizar la gestión y control en clubes y federaciones, donde los métodos manuales actuales resultan insuficientes. La incorporación de tecnologías como PLC, microcontroladores y RFID permitirá registrar cada disparo de manera precisa, vinculándolo a un usuario específico y evitando el uso indebido de los recursos. Este nivel de automatización incrementa la eficiencia administrativa y reduce los errores humanos que hoy en día afectan la transparencia y la confiabilidad de la disciplina. Además, la puesta en marcha de este sistema automatizado ayuda a optimizar la seguridad en el ámbito deportivo al posibilitar que el uso de los equipos y las comunicaciones se vigilen en tiempo real. Esto es particularmente importante para evitar circunstancias de peligro que surgen del uso indebido o no autorizado de los lanzamientos. Del mismo modo, la obtención de datos exactos y detallados sobre el tiempo de participación, la duración de cada sesión de entrenamiento, los intervalos entre disparos y el tiempo total de uso de los equipos permite realizar un seguimiento preciso del rendimiento y de la eficiencia operativa del sistema, contribuyendo a una gestión más segura y controlada de las actividades deportivas.



Fig. 1. Sistema de Tiro

II. METODOLOGÍA

Para el presente proyecto se analizó la arquitectura del sistema mediante la identificación de requerimientos y elaboración de diagramas de bloques, seguida de la selección de componentes electrónicos adecuados (PLC, Microcontroladores, RFID y sensores) que aseguren

confiabilidad en el conteo de lanzamientos. Posteriormente, se realizó la programación del controlador para integrar el hardware con el software de registro y visualización de datos. Con esta base, se procederá a la construcción del prototipo, su montaje físico y la validación del sistema en condiciones de uso real, evaluando precisión, tiempos de respuesta y fiabilidad en comparación con los métodos manuales tradicionales.

La selección de esta arquitectura tecnológica responde a la necesidad de robustez y precisión en un entorno deportivo exigente. Se implementó la tecnología RFID por su capacidad de gestionar el acceso de forma inalámbrica y segura, permitiendo una identificación de usuarios rápida y sin contacto mecánico. El uso de un PLC como unidad central de procesamiento garantiza una alta fiabilidad en el control de procesos lógicos y una respuesta inmediata ante las señales del entorno, superando en estabilidad industrial a los microcontroladores convencionales en tareas de automatización. Finalmente, la integración del sensor de fin de carrera y el acelerómetro es crucial para cerrar el lazo de control, ya que proporcionan una confirmación física directa del movimiento del mecanismo de la máquina lanzadora, asegurando que el conteo de tiros sea exacto y se base en lanzamientos efectivamente realizados.

A. Selección de método de diseño y montaje

Para esta fase inicial de diseño, se definió la arquitectura general del sistema a partir de los requerimientos funcionales, estableciendo la lógica de operación mediante diagramas de flujo. Dichos diagramas permiten representar de forma clara la secuencia de eventos, desde el inicio del sistema y la lectura de la tarjeta RFID, hasta la validación de la tarjeta, selección del tipo de servicio (número de tiros), activación del dispositivo y finalización de la sesión.

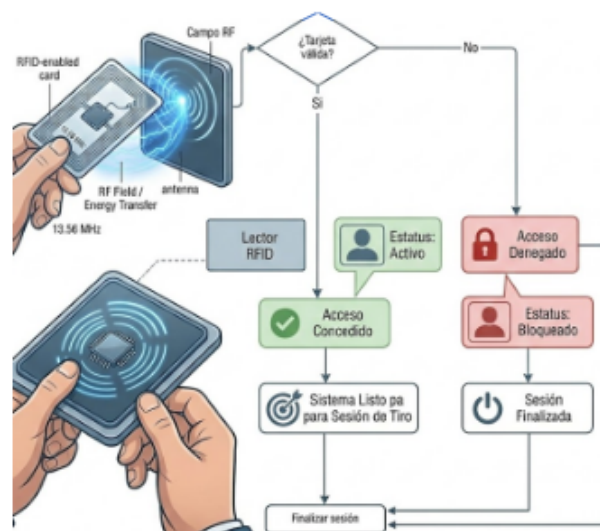


Fig. 2. Función RFID

La tecnología RFID (*Radio Frequency Identification*) constituye el núcleo del sistema de identificación y control de lanzamientos del sistema automático de conteo para tiro deportivo. Su función principal es identificar al usuario y determinar la cantidad de lanzamientos disponibles, garantizando un control automático, seguro y confiable del proceso.

1) **Inicialización del sistema RFID:** Al encender el sistema, el microcontrolador inicializa los módulos electrónicos, entre ellos el lector RFID, configurando los parámetros de comunicación necesarios (frecuencia de operación, velocidad de transmisión y pines de conexión). En esta etapa el sistema queda en modo de espera, listo para detectar una tarjeta RFID válida. Cuando el

usuario aproxima una tarjeta RFID al lector, este genera un campo electromagnético que permite energizar la tarjeta y leer su identificador único (UID). El lector envía este UID al microcontrolador, donde es recibido y almacenado temporalmente para su posterior verificación.



Fig. 3. Validación

2) **Validación de la tarjeta:** Una vez leído el UID, el sistema compara dicho identificador con una base de datos previamente programada, la cual contiene las tarjetas autorizadas.

- Si la tarjeta no es válida, el sistema rechaza el acceso y retorna al estado inicial de espera.
- Si la tarjeta es válida, el sistema continúa con el proceso de selección del tipo de tarjeta, permitiendo el acceso al sistema de lanzamientos.

Este paso nos garantiza que solo usuarios autorizados puedan utilizar el sistema, evitando usos indebidos o errores de conteo.

Tras la validación, el sistema identifica el tipo de tarjeta RFID, el cual está asociado a una cantidad específica de lanzamientos disponibles. En el sistema desarrollado se consideran las siguientes configuraciones:

- Tarjeta con 5 lanzamientos
- Tarjeta con 10 lanzamientos
- Tarjeta con 20 lanzamientos
- Tarjeta con lanzamientos programables, donde la cantidad puede ser configurada previamente, Una función flexible que permite configurar un número específico de lanzamientos según las necesidades particulares del entrenamiento del día.

El tipo de tarjeta determina el número inicial de lanzamientos que el sistema asigna al usuario, una vez identificado el tipo de tarjeta, el microcontrolador carga el número correspondiente de lanzamientos en una variable interna del sistema. Esta variable será utilizada para llevar el conteo automático durante la operación del dispositivo de lanzamiento.

3) **Integración con el sistema de lanzamiento:** Con la cantidad de lanzamientos correctamente asignada, el sistema habilita el dispositivo de lanzamiento automático. Cada vez que se ejecuta un lanzamiento, el sistema decreuenta en una unidad el contador asociado a la tarjeta RFID utilizada. Para esto se establece la conexión entre el software y la mecánica del disparo. Esta etapa se fundamenta en la interacción entre una unidad de control lógico programable (PLC), los sensores y el dispositivo de lanzamiento. Fig 4.

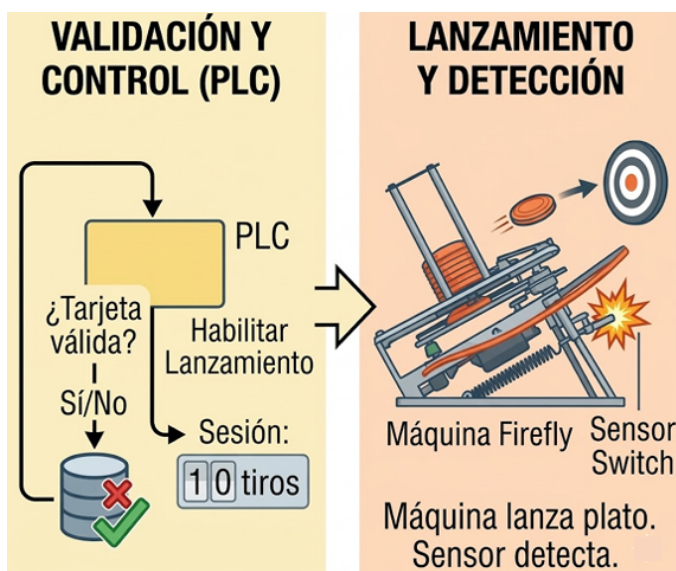


Fig. 4. PLC-Maquina

Una de las tecnologías utilizadas para el desarrollo del sistema de lanzamientos fue la implementación de un PLC Siemens S7-1200, la programación interna del dispositivo está basada en estructura Ladder (programación propia del PLC) la cual es muy conocida en el medio industrial, este dispositivo

actúa como el cerebro operativo de la planta física, decidiendo el estado de habilitado o no habilitado para el dispositivo de lanzamiento.

El PLC recibe inicialmente tres señales de ingreso y devuelve dos señal de salida, entre dichas señales las primeras dos de ingreso pertenecen al acceso de dos tarjetas RFID con diferentes cantidades de tiros y la tercera señal de ingreso está reservada para el sensor encargado de llevar el conteo de cada lanzamiento, este conteo se detecta en cada giro del mecanismo impulsor que pasa por un fin carrera el cual lleva la señal hacia el PLC, el montaje del dispositivo fin carrera es una modificación mecánica en la máquina de lanzamiento estratégicamente posicionado Para garantizar un conteo preciso de los lanzamientos y sincronizar la operación mecánica.

Cabe mencionar que las dos señales de ingreso mencionadas previamente pertenecen al control RFID el cual es externo al PLC, estas dos señales se habilitan de forma independiente cuando una de las tarjetas de cierta cantidad de tiros pasa por el lector y esto a su vez activa dos señales de salida dependiendo que tarjeta fue detectada, dichas salidas digitales son la validación del PLC hacia el dispositivo RFID; una vez terminado el conteo de lanzamientos la maquina se bloquea automáticamente esperando que una nueva tarjeta la vuelva a habilitar, este tipo de control garantiza una mayor eficiencia en la maquina al momento de contar cada tiro, reduciendo el margen de error en cada lanzamiento.

4) Selección de los sensores para la detección de lanzamientos: Para la detección de cada lanzamiento realizado por la máquina lanzadora de discos se evaluaron diferentes tipos de sensores que permitieran identificar de manera confiable el momento en que el mecanismo ejecuta un disparo. Considerando las características mecánicas del equipo, se seleccionó un sensor de fin de carrera (*limit switch*) como elemento principal, posterior se hizo la selección de un acelerómetro como segundo sensor de detección. Fig 5.

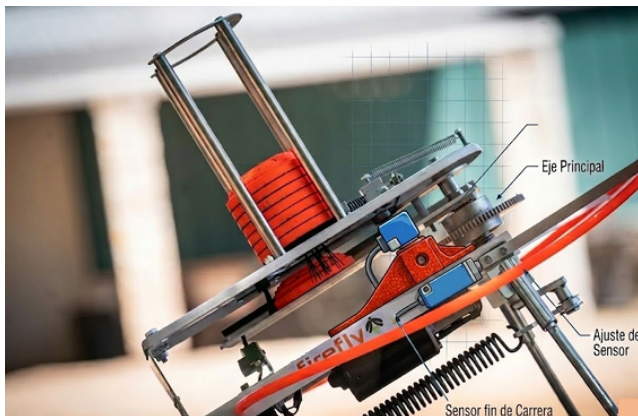


Fig. 5. Ubicación Sensores

La elección de estos sensores se fundamenta principalmente en su facilidad de instalación, mantenimiento y confiabilidad en entornos mecánicos. A diferencia de otros sensores, como los ópticos o inductivos, el sensor de fin de carrera y el acelerómetro permiten una integración directa con el movimiento físico del mecanismo sin requerir ajustes complejos de alineación, calibración o condiciones específicas de iluminación.

El funcionamiento del sistema se basa en el propio mecanismo de la máquina lanzadora. Cada vez que se produce un lanzamiento, el sistema mecánico acciona una palanca móvil que forma parte del mecanismo de disparo del equipo. Durante este movimiento, la palanca entra en contacto con el actuador del sensor de fin de carrera, generando una señal eléctrica que es enviada al sistema de control. Esta señal es utilizada por el microcontrolador para registrar y contabilizar un lanzamiento, permitiendo llevar un control preciso del número de discos disparados durante la sesión de tiro. Una vez detectado el contacto, el sistema incrementa el contador correspondiente y continúa monitoreando el sensor para el siguiente ciclo de operación.

Como medida de redundancia y para elevar la confiabilidad del registro de lanzamientos, se implementó un algoritmo de validación mediante un acelerómetro MEMS instalado en el chasis de la máquina lanzadora. Este sensor permite transducir las vibraciones mecánicas y el impacto del brazo de disparo en señales de voltaje proporcionales a la aceleración experimentada. El sistema de control (PLC) ha sido programado para ignorar cualquier vibración ambiental o golpes accidentales mediante la configuración de un umbral crítico (threshold). Bajo esta lógica, el sistema solo valida y registra un lanzamiento cuando la señal inercial detecta un pico de aceleración que supere el límite preestablecido, correspondiente a la firma mecánica única de un disparo real del plato. Esta integración permite filtrar ruidos mecánicos irrelevantes y asegura que el conteo no se vea afectado por manipulaciones externas o vibraciones parásitas que no alcancen la magnitud de un lanzamiento efectivo. Al trabajar en conjunto con el sensor de fin de carrera, se establece un sistema de doble validación: el PLC requiere tanto el contacto físico del brazo con el sensor como la superación del umbral inercial para ejecutar la resta en el contador de la sesión. Esto garantiza una precisión superior y una base de datos de entrenamiento libre de falsos positivos.

Adicionalmente, el uso de estos sensores presenta ventajas importantes para este tipo de aplicación, entre las que destacan:

- Instalación sencilla, ya que solo requiere ser colocado en la trayectoria de movimiento de la palanca del mecanismo.
- Alta robustez mecánica, adecuada para ambientes donde

- existen vibraciones y movimientos repetitivos.
- Mantenimiento mínimo, debido a su diseño simple y duradero.
- Respuesta inmediata, lo que permite detectar con precisión cada lanzamiento realizado por la máquina.

Gracias a estas características, el sensor de fin de carrera y acelerómetro se convierten en una solución eficiente y confiable para el conteo automático de lanzamientos en el sistema desarrollado.

Adicionalmente con el objetivo de ampliar la funcionalidad del sistema y permitir su operación en diferentes entornos, se realizó una modificación estructural en la base de la máquina lanzadora de discos para integrar un sistema de alimentación eléctrica autónomo. Esta adaptación permite que el equipo pueda operar de forma móvil e independiente de una fuente de alimentación externa, lo cual resulta especialmente útil en campos de tiro donde no siempre se dispone de conexión directa a la red eléctrica.

Para lograrlo, se diseñó y acondicionó un espacio en la base de la estructura de la máquina, destinado a la instalación de baterías recargables. Este compartimiento fue ubicado estratégicamente de manera que no interfiera con el funcionamiento mecánico del sistema de lanzamiento ni con los elementos móviles del equipo. El sistema de alimentación implementado utiliza una batería de 24 VDC, seleccionada debido a su compatibilidad con los requerimientos energéticos del PLC encargado del control del sistema. Esta configuración permite suministrar la energía necesaria para el funcionamiento del controlador, los sensores y los demás componentes electrónicos involucrados en el sistema de conteo automático de lanzamientos.

La integración de las baterías en la base de la máquina también ofrece ventajas adicionales, entre las que se destacan:

- Mayor portabilidad del sistema, permitiendo trasladar el equipo fácilmente a diferentes ubicaciones de operación.
- Independencia de la red eléctrica, facilitando su uso en espacios abiertos o áreas remotas.

III. EJECUCIÓN DE PRUEBAS

Para el cumplimiento de este objetivo se procede a la ejecución de pruebas experimentales del sistema desarrollado, las cuales se realizan en un entorno real de tiro deportivo, con el fin de evaluar su comportamiento y desempeño bajo condiciones controladas y representativas de la práctica habitual. Estas pruebas permiten verificar el correcto funcionamiento del sistema en situaciones reales de operación, garantizando que los resultados obtenidos sean confiables y

comparables con los métodos tradicionales utilizados en este tipo de actividades.

Durante esta fase se llevan a cabo ensayos con distintos usuarios, considerando variaciones en la frecuencia de disparo, tipos de tarjetas RFID asignadas y diferentes configuraciones de número de tiros, incluyendo tarjetas predefinidas y tarjetas programables. Cada sesión de prueba se desarrolla siguiendo el flujo de operación establecido en el diseño del sistema, desde la identificación del usuario mediante la lectura de las tarjetas, la validación del acceso, la selección del número de tiros y la activación del dispositivo de lanzamiento, hasta la finalización de la sesión.

Asimismo, se registran y analizan diversas variables de desempeño, tales como la precisión en el conteo automático de tiros, el tiempo de respuesta del sistema ante cada evento, la confiabilidad del proceso de identificación RFID y la estabilidad del sistema durante sesiones continuas de uso. Estos resultados se comparan con el registro manual tradicional, permitiendo evaluar la reducción de errores humanos, la mejora en la exactitud del control de disparos y la optimización del proceso operativo en el entorno deportivo.

Adicionalmente, con el propósito de validar la robustez del sistema ante perturbaciones externas y garantizar la confiabilidad del conteo de lanzamientos, se diseñó un conjunto de pruebas específicas orientadas a evaluar el comportamiento del sistema basado en el uso del acelerómetro como mecanismo de validación. Estas pruebas se enfocaron en analizar la respuesta del sistema frente a diferentes tipos de estímulos mecánicos que podrían generar falsos positivos en el registro de tiros. En este contexto, se definió un umbral de aceleración característico del evento real de lanzamiento, el cual fue determinado experimentalmente a partir de múltiples mediciones durante el funcionamiento normal de la máquina. Dicho umbral permite diferenciar entre un lanzamiento real y perturbaciones externas, tales como vibraciones, movimientos o impactos no relacionados con el disparo del disco.

Además se realizó el análisis de vibraciones mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) lo que es ampliamente utilizado en sistemas mecánicos para identificar características dinámicas y eventos relevantes en el dominio de la frecuencia, permitiendo detectar comportamientos específicos a partir de la señal adquirida [11].

Para la validación de este criterio, se realizaron las siguientes pruebas:

A. Prueba 1: Funcionamiento normal con lanzamiento de discos

Se realizaron múltiples ciclos de operación en condiciones normales, ejecutando lanzamientos reales de discos. En este

caso, el acelerómetro registró picos de aceleración que superaron consistentemente el umbral el cual lo establecimos tras múltiples pruebas y verificando su repetibilidad con eso estableciendo el umbral de 3 que nos permite analizar y comparar con diferentes pruebas, con esto logrando la correcta detección y validación de cada evento de disparo. Estos resultados fueron coherentes con la activación del sensor de fin de carrera, confirmando la efectividad del sistema de validación redundante.



Fig. 6. Lanzamiento de disco

B. Prueba 2: Movimiento de la máquina

Se sometió la máquina a movimientos controlados, incluyendo desplazamientos leves y oscilaciones de la estructura, con el objetivo de simular condiciones reales de manipulación o reubicación del equipo. Durante esta prueba, se verificó que las variaciones registradas por el acelerómetro no superaran el umbral definido anteriormente, por lo que el sistema no contabilizó eventos como lanzamientos.

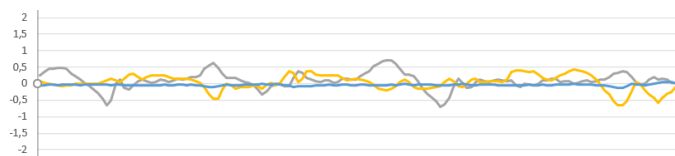


Fig. 7. Movimiento de la máquina

C. Prueba 3: Impacto externo sobre la máquina

Se aplicaron golpes controlados sobre la estructura de la máquina utilizando un objeto externo, con el fin de evaluar la sensibilidad del sistema ante perturbaciones mecánicas abruptas. Los resultados obtenidos demostraron que, aunque se generaron picos de vibración, estos no alcanzaron el nivel característico del evento de disparo, evitando así registros erróneos en el conteo de tiros.

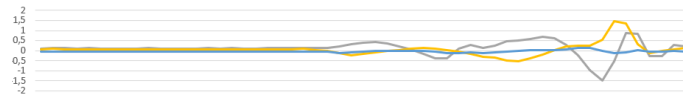


Fig. 8. Impacto sobre la máquina

Antes de presentar los resultados, es importante indicar que durante la ejecución de pruebas se realizó un registro detallado de cada evento de lanzamiento, considerando tanto las condiciones normales de operación como situaciones de perturbación externa. Para ello, se evaluó el comportamiento del sistema mediante la comparación entre la activación del sensor de fin de carrera, la respuesta del acelerómetro respecto al umbral definido y la validación final del tiro. Esta información fue organizada en una tabla comparativa que permite analizar de manera clara la consistencia del sistema en la detección de eventos reales y la discriminación de eventos no válidos.

TABLA I
EJECUCIÓN DE PRUEBAS DEL SISTEMA

Prueba	Condición	tarjeta	F-carrera	Acelerómetro	Tiro válido
1	normal	5 tiros	Sí	Sí	Sí
2	normal	5 tiros	Sí	Sí	Sí
3	normal	5 tiros	Sí	Sí	Sí
4	normal	10 tiros	Sí	Sí	Sí
5	normal	10 tiros	Sí	Sí	Sí
6	Movimiento	-	No	No	No
7	Golpe	-	No	No	No

A partir de los resultados presentados en la Tabla 1, se puede observar que el sistema responde de manera consistente ante condiciones normales de operación, registrando correctamente cada lanzamiento cuando existe coincidencia entre la activación del sensor de fin de carrera y el umbral del acelerómetro. Asimismo, en las pruebas correspondientes a perturbaciones externas, como movimientos o impactos sobre la estructura, el sistema no registró eventos como lanzamientos, evidenciando su capacidad para discriminar señales no válidas.

IV. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

En esta etapa se realiza la validación de los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales, mediante un análisis detallado y comparativo con los objetivos planteados al inicio del proyecto. Este proceso permite determinar el grado de cumplimiento de los requerimientos funcionales y técnicos del sistema, así como evaluar la fiabilidad y robustez del diseño implementado. La validación se centra en aspectos clave como la precisión del conteo de tiros, la correcta identificación de los usuarios, la coherencia entre el número de tiros asignados y ejecutados, y la respuesta del sistema ante diferentes condiciones de operación. Asimismo, se analiza el impacto del sistema en la transparencia del

registro, asegurando que la información generada sea clara, verificable y fácilmente administrable por los responsables del control deportivo.

Adicionalmente, se evalúa el aporte del prototipo en la optimización de la gestión del tiro deportivo, considerando la reducción significativa de errores asociados al registro manual, la mejora en la eficiencia administrativa y la facilidad de control para clubes y federaciones deportivas. Estos resultados permiten evidenciar los beneficios del sistema automatizado frente a los métodos tradicionales, destacando su aplicabilidad en entornos reales.

Para fortalecer el proceso de validación y proporcionar un análisis más detallado del comportamiento del sistema, se realizó un estudio adicional de las señales obtenidas del acelerómetro mediante herramientas de procesamiento digital en MATLAB. Específicamente, se aplicó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) junto con técnicas de ventaneo. Con el objetivo de analizar las señales tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. El uso de la FFT permitió obtener la firma espectral de cada una de las pruebas realizadas, facilitando la identificación de patrones característicos asociados a los eventos reales de lanzamiento. Previamente a la aplicación de la transformada, se implementaron funciones de ventana para reducir efectos de discontinuidad en la señal, mejorando la precisión del análisis espectral y evitando distorsiones en la interpretación de los resultados.

A partir de este procesamiento, se generaron gráficas de espectros de frecuencia correspondientes a cada tipo de prueba, incluyendo condiciones normales de operación, movimientos de la máquina y perturbaciones externas. Estas representaciones permitieron visualizar de manera clara las diferencias entre eventos válidos y no válidos, evidenciando que los lanzamientos reales presentan picos característicos tanto en amplitud como en contenido frecuencial, a diferencia de los eventos no asociados al disparo.

A. Lanzamiento de discos

En la Fig. 9, correspondiente a la Prueba 1, se presenta la señal adquirida durante un lanzamiento exitoso. En el dominio del tiempo, se identifica un transitorio de alta energía con un pico de magnitud aproximado de 6.2, el cual supera ampliamente el umbral de activación establecido en 3.0. Este margen de seguridad confirma la capacidad del sistema para discriminar el evento real del ruido base. Complementariamente, el análisis espectral mediante la FFT revela una distribución de energía concentrada por debajo de los 250 Hz, con una respuesta característica en los 170 Hz. La correlación entre la magnitud del impacto en el tiempo y su firma en el espectro de frecuencia valida la fiabilidad del algoritmo de detección, asegurando que solo los eventos que

cumplen con esta morfología de señal sean registrados como lanzamientos válidos.

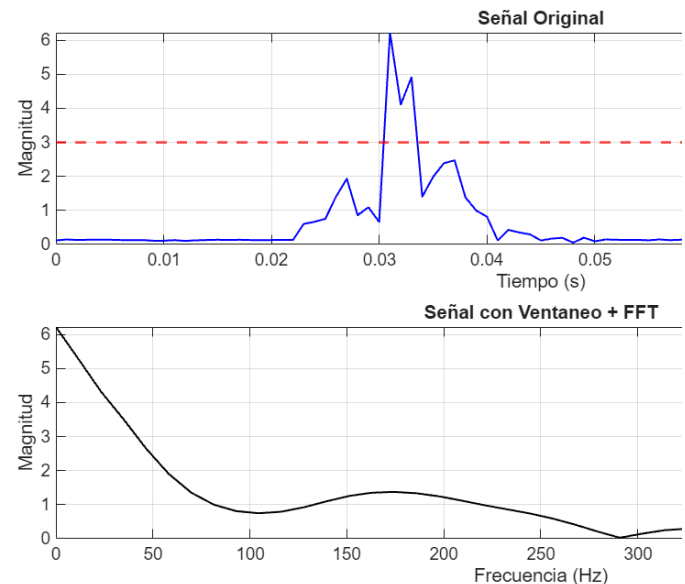


Fig. 9. Lanzamiento

B. Movimientos a la máquina

En la Fig. 10 (Prueba 2), se presentan los resultados obtenidos al someter la estructura a movimientos externos y vibraciones inducidas manualmente, con el fin de evaluar la robustez del criterio de detección. Como se observa en el dominio del tiempo, a pesar de la presencia de perturbaciones, las magnitudes registradas no superan el valor de 0.8, manteniéndose significativamente por debajo del umbral de 3.0. Asimismo, el análisis en frecuencia mediante la FFT no muestra una firma característica de impacto, presentando únicamente ruido de baja magnitud distribuido en el espectro. Estos resultados validan la selectividad del sistema, confirmando que este es capaz de discriminar entre el ruido operacional y los eventos reales de disparo, evitando así la generación de falsos positivos durante la manipulación del equipo.

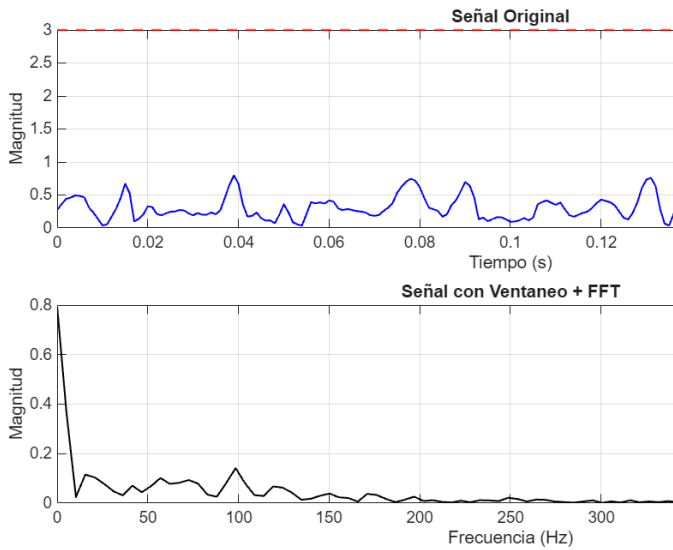


Fig. 10. Movimientos a la máquina

C. Golpes sobre la máquina

Para la Prueba 3, se aplicaron golpes directos a la estructura de la máquina con el objetivo de simular impactos accidentales durante la operación. Como se ilustra en la Fig. 11, la señal original registra picos de aceleración que alcanzan una magnitud máxima de 1.65, lo que representa aproximadamente el 55% del valor del umbral establecido. A pesar de ser eventos de mayor impacto que los movimientos simples de la Prueba 2, el sistema no registró ninguna activación de disparo. El análisis espectral confirma que estos golpes carecen de la densidad energética característica de un lanzamiento. Este resultado es fundamental, ya que demuestra que el sistema posee un margen de inmunidad al ruido mecánico suficiente para evitar falsas validaciones, garantizando que solo la respuesta dinámica producida por el mecanismo de lanzamiento sea procesada como un evento válido.

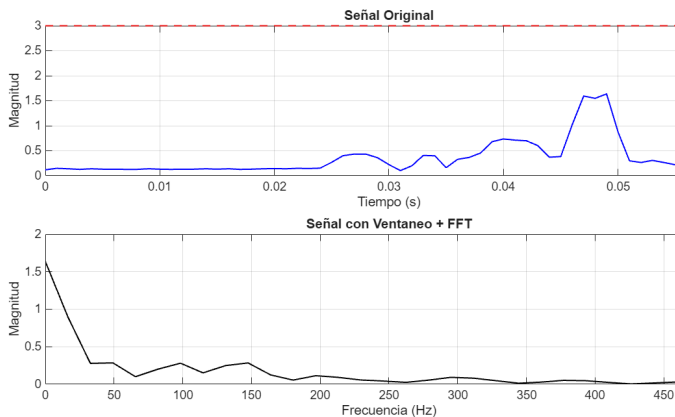


Fig. 11. Golpes en la máquina

Con el fin de cuantificar la precisión del sistema desarrollado, se realizó un análisis de error comparando el

número de lanzamientos detectados automáticamente por el sistema con el número real de lanzamientos ejecutados durante las pruebas experimentales. Para ello, se definió el error absoluto como la diferencia entre el número de tiros reales y el número de tiros registrados por el sistema expresado como:

$$E_{abs} = |N_{real} - N_{medido}| \quad (1)$$

se calculó el error relativo porcentual, el cual permite evaluar la magnitud del error en relación con el valor real, definido como:

$$E\% = \frac{|N_{real} - N_{medido}|}{N_{real}} \times 100 \quad (2)$$

$$E\% = \frac{|10 - 10|}{10} \times 100 = 0\% \quad (3)$$

Los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales evidenciaron que el sistema presenta un error de cero, debido a la implementación de un mecanismo de validación redundante basado en la coincidencia entre el sensor de fin de carrera y el umbral del acelerómetro. Esta estrategia permite eliminar falsos positivos generados por perturbaciones externas, garantizando que únicamente los eventos que cumplen con ambas condiciones sean registrados como lanzamientos válidos.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema automático de conteo de lanzamientos para tiro deportivo permitió cumplir de manera satisfactoria los objetivos planteados, demostrando que es posible reemplazar métodos manuales por una solución tecnológica más precisa, confiable y eficiente. La integración de tecnologías como RFID, PLC y sensores permitió no solo automatizar el registro de los disparos, sino también garantizar la correcta identificación de los usuarios y la trazabilidad de la información generada.

Uno de los aportes más relevantes del sistema es la implementación de un enfoque de detección redundante, basado en el uso combinado del sensor de fin de carrera y el acelerómetro. Esta estrategia permitió validar cada lanzamiento únicamente cuando ambas condiciones se cumplen, reduciendo significativamente la posibilidad de errores y eliminando falsos positivos generados por movimientos o impactos externos. Adicionalmente, el análisis

de las señales mediante técnicas de procesamiento digital, como el ventaneo y la Transformada Rápida de Fourier (FFT), permitió comprender el comportamiento dinámico del sistema y reforzar la validación de los eventos detectados. La identificación de patrones tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia evidenció que los lanzamientos reales presentan características claramente diferenciables frente a otras perturbaciones.

Las pruebas experimentales realizadas en condiciones reales, incluyendo movimiento de la máquina, impactos externos y operación normal, confirmaron la robustez del sistema y su capacidad para discriminar correctamente entre eventos válidos y no válidos. Los resultados obtenidos muestran un alto nivel de precisión en el conteo automático, así como una mejora significativa en la confiabilidad del proceso en comparación con los métodos tradicionales.

En conjunto, el sistema propuesto representa una solución viable y aplicable en entornos de tiro deportivo, contribuyendo a optimizar la gestión de los lanzamientos, mejorar el control operativo y brindar mayor transparencia en el registro de los datos. Este trabajo sienta una base sólida para futuras mejoras e integraciones tecnológicas orientadas a la automatización y modernización de este tipo de sistemas.

1) Recomendaciones para futuras mejoras: Como trabajo futuro, se recomienda ampliar la funcionalidad del sistema mediante la implementación de una base de datos que permita almacenar y gestionar de manera estructurada la información generada durante las sesiones de tiro, facilitando su consulta, análisis histórico y generación de reportes. Asimismo, se sugiere desarrollar interfaces de usuario que posibiliten la visualización de los resultados en tiempo real, mejorando la interacción con el sistema y el control operativo. De igual manera, se plantea la posibilidad de escalar la solución para su implementación en múltiples máquinas o estaciones de tiro, permitiendo una gestión centralizada en clubes o federaciones deportivas. Finalmente, se recomienda evaluar el desempeño del sistema en distintos entornos de operación, con el fin de consolidar su aplicabilidad y robustez en escenarios reales a mayor escala.

REFERENCES

- [1] ISSF, "General Technical Rules — Edition 2023–2024," International Shooting Sport Federation, Munich, Germany, 2024.
- [2] World Archery, "World Archery Rulebook — Book 3: Target Archery," World Archery Federation, Lausanne, Switzerland, 2024.
- [3] G. Gagara, J. Hockley, y G. Foote, "Monitoring of rifle shot count using acoustic emission signals," en *Proc. Int. Conf. Acoust. Emiss.*, 2015.
- [4] H. Junda, L. Zhang, Y. Liu, y X. Sun, "Integrated data platform for precision sports shooting training using multimodal sensing and Elasticsearch synchronization," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 1024–1035, 2024.
- [5] I. Atoui, H. Meradi, R. Boulkroune, R. Saidi, y A. Grid, "Fault detection and diagnosis in rotating machinery by vibration monitoring using FFT and wavelet techniques," en *Proc. 8th Int. Workshop Syst., Signal Process. and their Appl. (WoSSPA)*, 2013, pp. 321–325.

- [6] K. Konstantinos, M. Papadopoulos, D. Tsoukalas, y A. Christou, "ARTEMIS: IoT-based low-cost intelligent shooting range management system compliant with ISSF standards," *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 842, 2024.
- [7] I. A. Helal, T. H. Vuong, J. David, N. M. Bellaaj, y M. Pietrzak-David, "Vibration monitoring based on MEMS accelerometers," en *Proc. 16th Int. Conf. Sci. and Techn. Autom. Control and Comput. Eng. (STA)*, 2015, pp. 567–572.
- [8] W. Morais, L. Santos, y R. Almeida, "Virtual training environment for Paralympic shooting using MATLAB image processing," en *Proc. Workshop Virtual and Augmented Reality (WRV)*, 2015.
- [9] FETA, "Reglamento de Tiro Deportivo," Federación Ecuatoriana de Tiro, Guayaquil, Ecuador, s.f. [En línea]. Disponible en: <http://www.feta.org.ec>
- [10] Radio Sensación, "Cobertura del Campeonato Nacional de Tiro 2025," [Transmisión de radio/Digital], 15 de marzo, 2025.
- [11] G. Betta, M. D'Apuzzo, and A. Pietrosanto, "A DSP-Based FFT Analyzer for the Fault Diagnosis of Rotating Machines," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2000.

Mgtr. Daniel Capelo
Tutor