
OPTIMIZACIÓN PROTOTIPO TECNOLÓGICO INTEGRADO EN 1. LA ENSEÑANZA DEL SISTEMA TÁCTICO BÁSICO

Optimization of the technological prototype integrated in the teaching of the basic tactical system

<https://doi.org/10.22335/edne.97.c165>

Jorge H. Ruiz *; **José L. Garzón ****; **Harlinzo H. Ávila *****;
Orlando A. Izquierdo ****; **Nancy E. Corredor *******

* Escuela de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; jorge.ruiz1248@correo.policia.gov.co; <https://orcid.org/0000-0003-2214-3558>

** Escuela de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; jose.garzon5271@correo.policia.gov.co; <https://orcid.org/0000-0003-2214-3558>

*** Dirección de Educación Policial; harlinzo.avila@correo.policia.gov.co; <https://orcid.org/0000-0001-8451-0750>

**** Policía Metropolitana de Cartagena; orlando.izquierdo@correo.policia.gov.co; <https://orcid.org/0000-0001-6958-5148>

***** Escuela de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; nancyacademico@outlook.com; <https://orcid.org/0000-0001-9580-8392>

Como citar este capítulo: Ruiz, J. H., Garzón, J. L., Ávila, H., Izquierdo, O. A. y Corredor, N. E. (2023). Optimización prototipo tecnológico integrado en la

enseñanza del sistema táctico básico. En J. A. Lozano-Medina (Ed.), *Estudios en educación y pedagogía policial* (pp. 25-64). Editorial Dirección de Educación Policial. <https://doi.org/10.22335/edne.97.c165>

Resumen

La investigación se orientó a la optimización del prototipo de traje para la instrucción de apliques con bastón policial tipo tonfa, mediante la incorporación de parámetros para la medición de la fuerza de impacto, como parte de una propuesta pedagógica emergente para el uso de la fuerza en el servicio de policía. Con este fin, se empleó la metodología de investigación aplicada de tipo tecnológico en nivel propositivo de innovación. Para la recolección de información se aplicó un instrumento tipo encuesta, a fin de obtener datos cuantitativos para el análisis y la identificación de necesidades con respecto a la didáctica de enseñanza del bastón policial tonfa. Como resultado, se obtuvo un traje para la instrucción, de mayor utilidad, ya que permite determinar la fuerza con la cual se genera un golpe o impacto con el bastón tonfa, al realizar una acción frente al uso de la fuerza, durante el servicio de policía. Esta innovación tecnológica impacta en la formación policial, de forma significativa, desde lo pedagógico, ya que permite a docentes-instructores y estudiantes constatar entre lo que indican las leyes nacionales e internacionales, frente el uso de la fuerza y la forma de implementarla en los escenarios reales, lo cual redundará en mejorar la imagen institucional y aumentar el margen de seguridad del uniformado en ejercicio de sus funciones, en el cumplimiento del servicio de policía.

Palabras clave: innovación educacional, equipamiento electrónico, lenguaje de programación, programa informático didáctico, aprendizaje activo.

Abstract

The objective of this research was to optimize the prototype suit used for instructing the application of techniques involving the tonfa-type police baton. This optimization was achieved through the incorporation of parameters that measure impact force. This effort is an integral part of an emerging pedagogical proposal aimed at enhancing the understanding and proper application of

force within the realm of police services. To accomplish this goal, a research methodology with a technological focus was employed, operating at the level of proposing innovative solutions. Simultaneously, data collection was conducted using a survey instrument, yielding quantitative data essential for analyzing and identifying the instructional needs related to teaching techniques involving the tonfa police baton. The outcome of this research is a purpose-built instructional suit that offers enhanced functionality. It facilitates the assessment of the force applied during strikes and impacts with the tonfa baton, allowing for a precise determination of the strength employed while using force in police operations. This technological innovation carries significant pedagogical implications for police training. It empowers both instructors and students to compare theoretical principles outlined in national and international laws concerning the use of force with their practical implementation in real-life scenarios. The resulting effect is an improvement in the institutional image of the police force and an increase in the safety margin for officers during the execution of their duties within the framework of the police service.

Keywords: Educational innovation, equipment, training, techniques, instruction, police training.

Introducción

La Policía Nacional de Colombia ha sido objeto de diversas reacciones a lo largo de su trayectoria institucional en relación con la forma en que lleva a cabo los procedimientos policiales. En los últimos años, con los cambios de gobierno y los efectos en la sociedad colombiana, debido a los discursos de los diferentes sectores políticos, se ha observado un aumento en la participación de la población civil en manifestaciones callejeras, de diversas formas. Bajo el clamor de exigir el respeto por los derechos constitucionales, a veces estas protestas han sido aprovechadas por grupos que incitan a la violencia y los disturbios. Ello ha dado lugar a acciones desmedidas que afectan tanto a la población civil como a los bienes públicos y privados del país. Lamentablemente, también se han registrado situaciones en las que el personal policial ha sido objeto de agresiones.

Es importante reconocer que, dentro de la Policía Nacional de Colombia, hay numerosos miembros comprometidos, que cumplen con su deber de proteger

y servir a la sociedad, de manera responsable. Sin embargo, también es necesario abordar las críticas y preocupaciones legítimas, en relación con ciertos procedimientos y actuaciones policiales. La situación actual requiere un enfoque integral que promueva el diálogo constructivo entre la sociedad civil, el Gobierno y las instituciones policiales. Es fundamental que se realicen investigaciones rigurosas sobre cualquier denuncia de abuso o violación de derechos humanos, y que se tomen las medidas necesarias para asegurar la rendición de cuentas y la transparencia en el accionar policial. Asimismo, es esencial fomentar espacios de formación y capacitación continua para el personal policial, a fin de fortalecer su preparación en materia de derechos humanos, manejo de situaciones de conflicto y respeto a la dignidad de todas las personas.

En consecuencia, estos efectos han llevado a que la Policía Nacional de Colombia, en su papel como “cuerpo armado de naturaleza civil”, según lo establecido en artículo constitucional 218 (Asamblea Nacional Constituyente, 1991), deba intervenir para mantener el control y restablecer el orden en la ciudadanía. Sin embargo, estos procedimientos han dado lugar a demandas en las que, inicialmente, el Estado asume la responsabilidad, pero en última instancia recae en los funcionarios que han violado las normas. En la actualidad, esta situación se refleja en la forma en que se manejan los casos relacionados con la Policía Nacional de Colombia.

Por esta razón, el método utilizado actualmente por la institución para controlar y retomar el orden nacional presenta falencias en cuanto al uso adecuado de la fuerza, aspecto que, como se mencionó en los párrafos anteriores, son materia de cuestionamientos desde los entes internacionales, nacionales, locales y la población civil. Ello genera una reflexión desde el aspecto policial en el cual nace interrogantes como los siguientes: ¿cuáles son las medidas que la Policía Nacional de Colombia puede implementar para asegurar que su actuación se ajuste a la normatividad establecida para el uso adecuado de la fuerza?; ¿se han considerado otras estrategias para proporcionar una capacitación de mayor impacto, al personal policial en cuanto al uso adecuado de la fuerza?; ¿existe la posibilidad de que en el rol policial se esté perdiendo el equilibrio entre la proporcionalidad y la razonabilidad en el uso de la fuerza como medio para mantener el control?

A partir de estos cuestionamientos, surgen otros que buscan brindar una solución que coadyuve al mejoramiento de la problemática establecida, por ejemplo: ¿cuáles son las formas de apoyar la pedagogía del uso adecuado de la

fuerza para el personal policial? ¿Existen recursos tecnológicos disponibles que puedan contribuir a la formación en el uso adecuado de la fuerza por parte del personal policial? ¿Es factible utilizar tecnología para optimizar los elementos prácticos que miden la fuerza del impacto generada por el bastón tonfa? Y ¿cuáles son los enfoques clave que pueden abordar, para lograr el control sin causar daños lamentables en situaciones policiales?

Por tanto, puede que exista una forma que permita dar respuesta a través de un recurso tecnológico denominado prototipo que admita fortalecer la pedagogía frente al uso adecuado de la fuerza desde lo realmente práctico, donde el personal policial pueda establecer, desde la teoría, qué acciones está realizando de forma adecuada y cobijado bajo la normatividad actual y, a su vez, como afrontar una situación de riesgo frente al instinto de supervivencia que genera mayor control de manejo para responder con acciones coherentes y no desbordadas en procedimientos policiales de alta complejidad. Es decir, que para llegar a la propuesta del presente proyecto de investigación se tomaron como base fuentes de importancia desde lo institucional como Policía Nacional de Colombia (2009, 2017a-b, 2023).

Así también, existe una solución posible, a través de un recurso tecnológico denominado prototipo, que puede fortalecer la pedagogía en relación con el uso adecuado de la fuerza, de manera práctica. Este prototipo permitiría al personal policial poner en práctica las acciones teóricas de forma adecuada, en cumplimiento de la normatividad actual, y afrontar situaciones de riesgo manteniendo el control y respondiendo de manera coherente en procedimientos policiales complejos. Para desarrollar esta propuesta de investigación, se han tomado como base fuentes institucionales de importancia, como la Resolución 03517 del 05 de noviembre de 2009 (Policía Nacional de Colombia, 2009), la Resolución 02903 del 23 de junio de 2017 y la Resolución 03002 del 29 de junio de 2017 (Policía Nacional de Colombia, 2017a-b). Estas fuentes proporcionan los lineamientos y regulaciones necesarios para abordar el uso de la fuerza de manera adecuada en el contexto policial.

Como resultado de lo expuesto, este proyecto ha sido concebido con el propósito de brindar una solución mediante la optimización del traje de instrucción, e implementar la tecnología como un componente de medición del uso de la fuerza. Esto permitirá proporcionar instrucción realista al personal policial, específicamente en la definición de los límites del uso de la fuerza con el bastón tonfa. Esta iniciativa será de gran apoyo para todos los miembros de la

Policía, especialmente en los procesos de formación profesional, con el fin de reducir los casos de extralimitación y minimizar los daños a la integridad de los ciudadanos. En otras palabras, estos aspectos se fundamentan en teorías consultadas en las áreas de ingeniería y electrónica, las cuales respaldan la identificación de los requisitos necesarios para la optimización del traje de instrucción como solución a la problemática planteada.

De igual forma, es importante resaltar que en la actualidad la Policía Nacional cuenta con capacitaciones sobre el *sistema táctico básico policial*, que son, sin duda, de apoyo fundamental en esta temática. Pero no permiten medir las aplicaciones de su uso. Por ende, se hace necesario que la formación esté acompañada de un sistema de medición que permita al funcionario policial conocer los límites de la fuerza con la cual podrá generar disuasión o control, si lleva consigo un bastón tonfa; y si esta acción de intervención es requerida, frente a los ciudadanos, decisión tomada por el policía al analizar si dada la situación es estrictamente necesario para reducir un riesgo inminente.

Teniendo en cuenta lo expuesto, resulta absolutamente necesario para la Policía Nacional implementar prácticas didácticas respaldadas por la tecnología. A diario, el personal policial se ve envuelto en investigaciones disciplinarias, debido al uso inapropiado de la fuerza durante los procedimientos e, incluso, enfrentan investigaciones penales por lesiones personales o intentos de homicidio, cuando se exceden en el uso de la fuerza. De acuerdo con los datos obtenidos por solicitud a la Inspección General de la Policía Nacional, en 2019-2022, se vincularon 1205 funcionarios a procesos disciplinarios, por la presunta conducta de abuso de autoridad. El año 2019 fue el de mayor índice: 223 casos (Policía Nacional de Colombia, 2022).

Es en este contexto donde adquiere relevancia la optimización del traje de instrucción, cuyo objetivo es entrenar al personal policial, para que sean conscientes de la cantidad de fuerza que emplean durante sus acciones. Así también para que comprendan el nivel de daño que puede ser causado en caso de sobrepasarse, y cuáles son los límites legales permitidos al utilizar la fuerza, cuando sea necesario. Esto resalta la importancia y el papel fundamental de la introducción y la aplicación de la tecnología, en beneficio de la transformación policial.

Materiales y métodos

En el proceso de investigación, pueden identificarse dos categorías principales, con base en sus objetivos. La primera es la investigación científica, la cual se distingue por la observación minuciosa de los fenómenos y elementos que constituyen el mundo que nos rodea. Su finalidad radica en comprender, validar y proporcionar explicaciones accesibles para la mente humana sobre estos aspectos. El segundo tipo corresponde a la investigación tecnológica, centrada, a su vez, en la modificación y mejoría de la realidad experimentada por las personas, con el propósito de elevar su calidad de vida y facilitar el desarrollo de sus actividades cotidianas.

La investigación tecnológica evaluativa que tiene la finalidad de evaluar si los sistemas actuales cumplen con los requisitos legales, ético y técnicos de la operación de intervención policial. Esta se origina a partir de los conocimientos adquiridos, a través de la investigación científica, y surge en respuesta a problemas o necesidades específicas. Este proceso comienza con la documentación detallada del objeto de estudio, lo que sienta las bases para concebir un diseño que tenga la capacidad de abordar y resolver un problema o necesidad, de manera efectiva (García-Córdoba et al., 2010).

De acuerdo con García-Córdoba y su equipo (2010), esta investigación de naturaleza tecnológica se clasifica como un enfoque incremental, considerando que, en la extensión de la resolución, se utiliza el saber de los investigadores para diseñar un modelo que incluye tanto elementos físicos como componentes de *software*. Este sistema se desarrolla con funciones específicas y se convierte en una herramienta educativa aplicable para evaluar la habilidad de los oficiales de policía en la utilización del bastón policial.

De acuerdo con su propósito, esta investigación es de tipo aplicada, es decir, se dirige a una realidad concreta en una comunidad o, en este caso, una institución. Los resultados que parten de los conocimientos obtenidos de ciencias como la física y la electrónica se dirigen a crear un artefacto que dé respuesta al objetivo. Por ello, se pretendió atender una necesidad en la pedagogía y didáctica de la formación policial, de tipo tecnológico, porque partió de una idea que lleva a la acción, por lo que se denomina también investigación-acción. El enfoque es propositivo de innovación, ya que, con la creación y el mejoramiento del traje para instrucción, se aporta una nueva forma de aprender y medir la

intensidad en la utilización del bastón policial tonfa, de forma práctica y como un nuevo método de aprendizaje-enseñanza. Por tanto, el producto final se define como un resultado de la investigación de innovación tecnológica que se introduce en la práctica (Romero et al., 2019).

Por otra parte, el presente proyecto se circunscribe al enfoque exploratorio, ya que inicia desde la valoración de una necesidad institucional de tipo pedagógico-tecnológica. Y al aplicar una encuesta al personal uniformado, se constata con datos cuantificables que permiten concluir que la necesidad es real para la institución. Por lo que se procede al desarrollo tecnológico de la propuesta investigativa.

Partiendo de lo estipulado en la Resolución 02078 de 2020, “por la cual se expide el Manual de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Policía Nacional de Colombia” (Policía Nacional, 2020), el presente proyecto parte de la evaluación de la necesidad en cuanto a la utilización de un traje que permita la medición de la fuerza percibida por medio del uso del bastón de policía tonfa sobre este mismo. Tal valor permite establecer cuándo sobrepasa el máximo permitido, de acuerdo con lo estipulado por la normatividad.

Participantes

Se recolectó la información por medio de la aplicación de una encuesta, avallada previamente por un juez experto. Esta constó de diez preguntas con respuesta cerrada de dos opciones. Para la muestra poblacional, se seleccionaron cuarenta sujetos uniformados de diferentes unidades, ubicados en el complejo policial de la Dirección de Educación Policial. Ellos participaron de forma voluntaria contestando la encuesta, de forma anónima.

Tipo de estudio

Se establece que la investigación se fundamenta en datos adquiridos de las disciplinas científicas, como la física y la electrónica. La investigación abarca conceptos relacionados con la fuerza, unidades de medida como los newtons, instrumentos como el dinamómetro y el fenómeno del efecto piezoeléctrico.

Además, se exploran aspectos como el uso de sensores y otras herramientas tecnológicas que se emplean en la adaptación del traje utilizado en la instrucción. En consecuencia, el enfoque de este estudio se enmarca en la investigación aplicada, específicamente de carácter tecnológico, con un nivel propositivo de innovación.

Instrumentos

Se recolectó la información a partir de la aplicación de la encuesta mencionada de diez preguntas, con respuesta cerrada de dos opciones. Para la muestra poblacional, se seleccionaron cuarenta uniformados de diferentes unidades, ubicados en el complejo policial de la Dirección de Educación Policial; quienes participaron voluntariamente contestando la encuesta, como se dijo antes.

En las etapas de introducción, definición del problema de investigación y marco teórico, se utilizó una combinación de la técnica de recolección documental y entrevistas abiertas. Esto se llevó a cabo con el propósito de recopilar la información esencial para comprender profundamente el objeto de estudio. Además, se realizaron observaciones directas en el entorno relevante, donde la problemática se presenta. Esto, para contrastar los hallazgos con la información extraída de los documentos y las entrevistas (Ruiz-Otálora et al., 2021).

Igualmente, se utilizaron dispositivos de medición electrónica, para adquirir información relacionada con la operación de los componentes elegidos para la incorporación al prototipo (multímetros, osciloscopios, cronómetros y cintas métricas, entre otros). Estos instrumentos son aplicados para evaluar aspectos como el consumo de corriente, la autonomía y la distancia de conexión inalámbrica. Estos parámetros están vinculados con los requisitos preestablecidos en la fase inicial de la concepción del desarrollo (Ruiz-Otálora et al., 2021).

Procedimiento

La relevancia asociada al avance de este proyecto de investigación justifica la implementación de un enfoque metodológico estructurado en cuatro etapas. Estas fases están diseñadas para alcanzar los resultados deseados, de manera

eficiente, al tiempo que agilizan la ejecución de los procedimientos requeridos. Estas etapas representan los pre-experimentos realizados, respaldados por argumentos matemáticos y conceptos físicos sólidos. Estos elementos serán empleados luego con el propósito de lograr la plena funcionalidad y el cumplimiento de la misión del traje, cuyo objetivo principal es medir la fuerza aplicada en el uso de la tonfa:

Fase 1. Concepción actual del traje RedMan. En esta fase se realizaron las respectivas prácticas para diagnosticar la tecnología con la que contaba el traje RedMan y qué requiere implementar adicionalmente para el desarrollo completo del proyecto.

Fase 2. Realización de las Pruebas del traje RedMan y la aplicación en las leyes de la física. Incluyó la realización de las pruebas sobre el traje con los elementos de medición, especificación de las leyes de la física usadas para hallar dichos datos, que puedan arrojar datos de fuerza (en newtons), mediante el empleo de los dispositivos actuales en la medición.

Fase 3. Realización de diagrama de flujo sobre la ejecución del programa. En el diagrama de flujo se establece la guía de ejecución del programa, en este caso, la definición de las variables, la ejecución de estas con base en las funciones adaptadas para el desarrollo del algoritmo y que cumpla con necesidades propias del proyecto.

Fase 4. Escritura del código. En la construcción del código se establece por medio del diagrama de flujo, la realización del programa, mediante el lenguaje C, definiendo las variables y ejecución de los condicionales requeridas por los investigadores; también las nuevas funciones que se utilizan para la ejecución del programa. Todo esto, mediante los parámetros establecidos en el lenguaje de programación C.

Se utilizaron instrumentos de medición como la balanza, cinta métrica y cámara fotográfica con alta capacidad de fotogramas. Así también, una plataforma de medición es un tubo PVC para direccionamiento de la masa; regla; y sensor FSR406. Además, se documentó el proceso de observación de los investigadores.

Resultados

Teniendo en cuenta, que el desarrollo del proyecto de investigación consta de dos etapas. En esta segunda, se buscó complementar y optimizar aspectos del traje de instrucción para el sistema táctico básico policial; utilizado para recibir protección durante las instrucciones que se realizan, en el marco de la transformación institucional en esta área del servicio de policía. Por ello, al momento de la instrucción se efectuaron apliques o golpes con el bastón tonfa, por parte de los estudiantes. De esta manera, se evaluó el punto de impacto y la fuerza del apliche, con el propósito de retroalimentar y mejorar la habilidad de uso del bastón policial dentro de las regulaciones que marcan el uso de la fuerza por los uniformados policiales.

Los resultados relacionados en la tabla 1 se obtuvieron como parte de la recolección previa de datos, a través de la aplicación de la encuesta.

Tabla 1.

Datos recolectados por medio de la encuesta aplicada

Tema	Conclusiones	Aporte a la investigación
Importancia de la capacitación al policía, sobre el uso del bastón tonfa en el uso de la fuerza.	El 100% de los encuestados expresaron su total acuerdo sobre la necesidad de la formación específica.	Es importante desarrollar la investigación desde la pedagogía para el uso adecuado de la fuerza.
Incremento de los casos de policía asociados a faltas disciplinarias por el uso de la fuerza.	El 100% de los encuestados afirmó que, si se evidencia, afectan la imagen institucional.	Aportar desde la pedagogía para la prevención del uso inadecuado de la fuerza.
Conocimiento acerca de un recurso pedagógico tecnológico para el uso adecuado de la fuerza.	El 94.7% respondió que no tienen conocimiento al respecto.	Apuntando a la innovación educativa, el recurso tecnológico en la didáctica del uso adecuado de la fuerza marcaría un adelanto significativo.

Estudios en gestión del Servicio de Policía

Tema	Conclusiones	Aporte a la investigación
Importancia de un dispositivo que permita medir la fuerza ejercida al momento de usar el bastón policial tonfa, en newtons.	El 97.4% de los encuestados considera que sí es importante incorporar recursos que sean válidos, al momento de medir la fuerza de la acción ejercida con el bastón policial tonfa.	Contemplar la medida de fuerza en newtons, permite obtener una medida de la fuerza empleada por el policial que permite evaluar la intensidad que debe emplear en los movimientos.
Impacto en la imagen institucional por errores en los procedimientos policiales respecto al uso de la fuerza.	El 100% de la muestra poblacional está de acuerdo con que el impacto sobre la imagen institucional es negativo con respecto a los malos procedimientos policiales.	La buena imagen institucional debe fomentarse desde el interior, que permita, por medio de la educación, generar consciencia y autorregulación emocional al momento de ejercer las funciones policiales.
Conocimiento por parte de los uniformados policiales con respecto a la fuerza que ejercen, cuando utilizan el bastón tonfa en el ejercicio de sus funciones.	El 94.7% opina que existe desconocimiento con respecto al tema.	—
En la formación que ha recibido como policía, se ha utilizado un elemento práctico y tecnológico en el aprendizaje del uso adecuado de la fuerza.	El 100% de los encuestados respondió que no han recibido este tipo de entrenamiento.	La innovación tecnológica debe fortalecer el desarrollo de la enseñanza del área policial, facilitando el entrenamiento práctico.

Nota. Los datos obtenidos por medio de la encuesta evidencian la necesidad de crear una propuesta pedagógica que permita valorar la fuerza del golpe propinado con el bastón policial tonfa, en motivos de policía.

De acuerdo con lo evaluado, se concluye que la propuesta de optimizar el traje RedMan es, sin duda, un gran aporte para incorporar nuevas tecnologías en la didáctica de los procesos formativos del personal policial, para mejorar en aspectos básicos del servicio como la forma en que se procede en el uso adecuado de la fuerza.

En la primera etapa, se obtuvo un traje como una herramienta de instrucción completa, pero que carecía de un sistema que permitiera calcular o realizar una aproximación que informara a los instructores y practicantes sobre cuánta fuerza se genera en cada aplique o golpe. La finalidad de esta optimización es que el personal policial pueda crear una connotación diferente de los impactos generados en algún procedimiento policial con el bastón tonfa, ya que este elemento de dotación es el de mayor uso al momento de atender un motivo de policía, utilizado para defender la integridad de sí mismo, al momento de controlar, por ejemplo, a una persona que propina golpes o violencia desmedida.

Por tanto, con base en los aspectos fundamentales generados durante la Etapa I del proceso de desarrollo del traje de instrucción y tomando en cuenta también la documentación que ha permitido establecer criterios de modificación derivados de investigaciones afines, así como la incorporación de componentes tecnológicos y electrónicos que han colaborado en la transformación de las propuestas iniciales; se presenta para este proyecto una serie de fases metodológicas, alineadas con los objetivos específicos planteados y que contribuyeron de manera significativa a la consecución de los objetivos, abordando al mismo tiempo los interrogantes surgidos durante la identificación del problema.

Fase 1. Concepción actual del traje RedMan

En la actualidad, para el desarrollo de las prácticas de manejo de tonfa y los apliques que realiza el policía, en el marco de su entrenamiento del sistema táctico policial, se emplea un traje de la marca RedMan (figura 1), cuyo propósito fundamental es la protección y el amortiguamiento de los apliques con el bastón policial tonfa (Valbuena, J. Instructor del Sistema Táctico Básico ESMEB/comunicación personal, 2021).

Figura 1.
Traje RedMan



Nota: foto tomada por el equipo de investigadores.

Como se observa en la figura 2, el dispositivo tipo bastón policial de instrucción que se utiliza durante estas prácticas cuenta con un recubrimiento, para amortiguar el impacto. Este recubrimiento es fabricado en polietileno expandido, para disminuir las posibles lesiones que puedan generarse en el desarrollo de las prácticas. Como complemento, se emplea un casco especial para la protección de la cabeza, lo cual, en su conjunto, permite concluir que, en la actividad de entrenamiento, la institución cuenta con elementos de protección adecuados para realizar los apliques con el bastón policial. Sin embargo, no se dispone de tecnologías que permitan evaluar los puntos de impacto.

Figura 2.

Bastón policial y casco empleados en instrucción



Nota. Los implementos que se utilizan como protección durante la instrucción del uso del bastón policial tonfa permiten realizar el ejercicio, pero no interpretación de la fuerza de los apliques realizados con la tonfa. Nota: foto tomada por el equipo de investigadores.

La revisión de los trajes de entrenamiento fabricados por la empresa norteamericana RedMan permitió confirmar que se dispone de varias configuraciones de traje con propósitos de protección ante los golpes contundentes, ampliamente utilizados en el entrenamiento, relacionados con la defensa personal (RedMan Training Gear, 2019). Aunque la reconocida empresa RedMan cuenta con un importante componente de innovación en sus trajes, ninguno de ellos dispone de medios tecnológicos para notificar el punto de impacto.

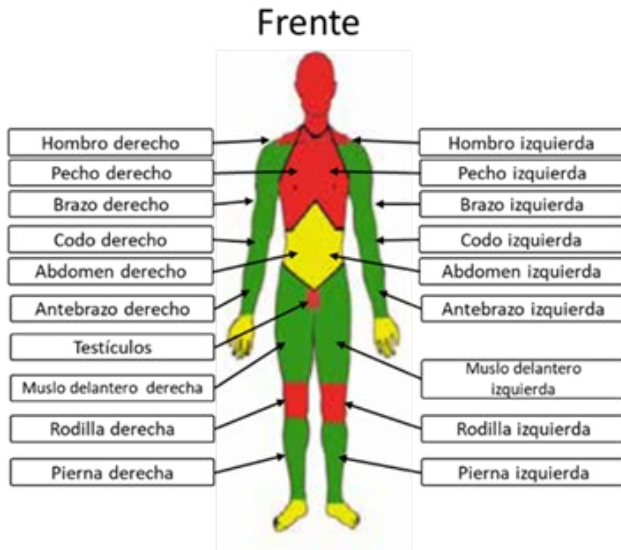
En la etapa inicial del estudio, se creó el traje RedMan. Este traje incorporó sensores piezoeléctricos en diversas zonas del cuerpo, cuya función es recolectar información analógica. Esta información se emplea, posteriormente, para medir la fuerza ejercida por el dispositivo. El circuito electrónico responsable de recopilar las señales provenientes de los sensores y transmitir los datos de manera inalámbrica fue posicionado en la región superior y central de la espalda (Ruiz-Otálora et al., 2021).

Una vez se estableció la utilización de sensores piezoeléctricos como método de detección para los dispositivos de tonfa, se avanzó en la tarea de definir cómo se distribuirían estos sensores en las distintas áreas del cuerpo, mencionadas a continuación. Durante este proceso, se consideró esencial identificar

al menos veintinueve (29) puntos específicos donde serían colocados los sensores (figuras 3-4). Es importante determinar que los colores en esta disposición identifican las zonas que no están permitidas según la reglamentación del uso adecuado de la fuerza, debido al daño potencial que pudiera generar en las personas involucradas en los motivos de policía (Ruiz-Otálora et al., 2021).

Figura 3.

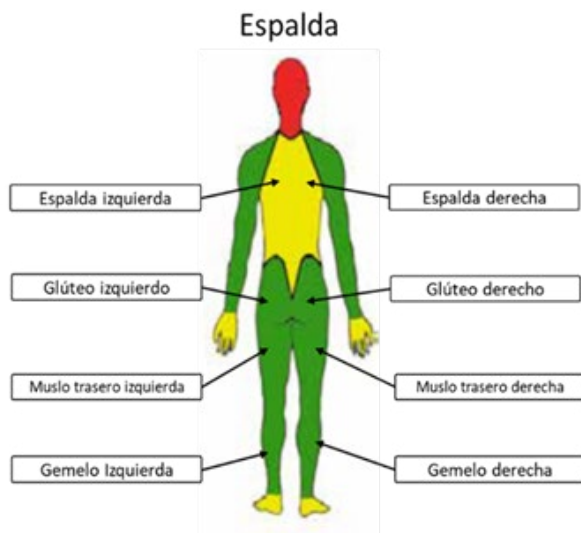
Puntos corporales frontales seleccionados para el prototipo



Nota. La imagen señala los puntos corporales relacionados con colores. El rojo señala las zonas donde no es permitido dar golpes con el bastón policial tonfa.

Figura 4.

Puntos traseros seleccionados para el prototipo



Nota. La identificación de los puntos específicos en el cuerpo posibilita la segmentación de las áreas de impacto. Esta aproximación incrementa las oportunidades de evaluación según los objetivos deseados por el prototipo.

Los colores en el área de los sensores indican la asertividad de los golpes en zonas permitidas y zonas delicadas donde el daño a la persona puede ser grave. En total se emplearon 91 sensores en agrupaciones de dos (02), tres (03), cuatro (04), cinco (05) o seis (06) que se conectaron en paralelo y que corresponderá a un punto corporal específico, para aumentar la cobertura (Otálora et al., 2021).

En esta segunda etapa, el objetivo se centra en optimizar el prototipo de traje para instrucción de apliques con bastón policial, mediante la incorporación de parámetros de medición asociados a la fuerza del impacto como propuesta pedagógica para el uso adecuado de la fuerza.

Tomando las características de medición, se estableció que los sensores piezoeléctricos están condicionados por medio de un divisor de tensión, que tienen una variación en el voltaje de 0 a 5 voltios, proporcional a la fuerza del impacto. Estos datos analógicos (0-5 V DC) son convertidos a su valor digital

en resolución de 16 bits (0-1023), susceptibles de analizar para valorar su correspondencia con la fuerza en newtons, mediante cálculos y la asociación experimental de datos.

Fase 2. Realización de las pruebas y aplicación en las leyes de la física

La utilización de la teoría de la conservación de energía en el contexto de un objeto en caída libre ofrece la posibilidad de aplicar fórmulas que permiten calcular su velocidad y, consecuentemente, su energía cinética. Sin embargo, estas mediciones complementarias no brindan información suficiente para comprender la fuerza de impacto generada. Para abordar este aspecto, es necesario llevar a cabo una evaluación precisa del desplazamiento resultante después del impacto.

En el desarrollo del algoritmo, la práctica se realiza con un bloque (figura 5), de 0.572 kg de masa, a una distancia establecida.

Figura 5.
Medida de masa fija

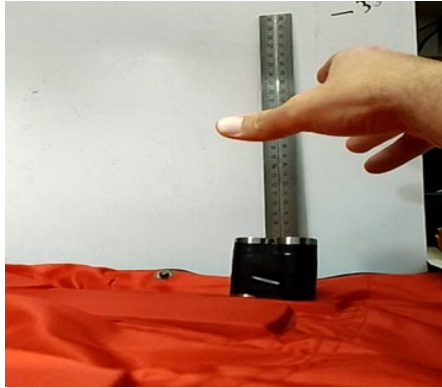


Nota. Peso de la masa para la realización de las respectivas pruebas.

En la práctica, se hace necesario utilizar el peso mencionado de la masa, con una distancia inicial de 10 cm (figura 6). Se tomó igualmente la distancia que ejerce el impacto al traje RedMan.

Figura 6.

Práctica con masa a una distancia de 0.1 metros



Nota. La imagen representa la caída de la masa sobre el traje Redman, para realizar las respectivas mediciones de la Fuerza sobre el traje. Nota: foto tomada por el equipo de investigadores.

Considerando que el objetivo era determinar la fuerza de impacto en la caída de los objetos, se calculó la fuerza del impacto de un objeto con una masa pre-determinada, manteniendo una distancia constante. Esto permitió recopilar varios datos relevantes para el desarrollo optimizado del traje. Se eligió una masa de 0.572 kilogramos para que cayera desde una altura de un metro (1 m), utilizando la aceleración estándar (9.8 m/s^2). Con la ecuación siguiente se realizó el cálculo de la velocidad del objeto:

$$\text{Velocidad de impacto} = \sqrt{2gh}$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{2 \times \frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2} \times 1,0 \text{ m}} \\ &= 1.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

A través de cálculos matemáticos, se determinó la velocidad de impacto justo antes de que el objeto entrara en contacto con el traje. Además de registrar la distancia recorrida después del impacto, también fue posible calcular la magnitud de la fuerza del impacto. Este cálculo se realizó empleando el principio

de trabajo-energía, tomando en consideración el valor de la velocidad alcanzada (Young, 2009):

$$E_c = \frac{1}{2} m \times v^2 = \frac{1}{2} \times 0.572 \text{ kg} \times \left(1.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0.56054 \text{ J}$$

Al conocer el dato de la energía cinética, se logra hallar la fuerza promedio de impacto, por medio de la siguiente formula:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza promedio de impacto} &= \frac{\text{Cambio de energía}}{\text{Distancia recorrida}} \\ &= \frac{0.56054 \text{ J}}{0.01 \text{ m}} \\ &= 56.054 \text{ N} \end{aligned}$$

Fue necesario hallar la fuerza de impacto promedio, mediante una masa pre-establecida de 0.572 con una distancia recorrida de 0.1 m. Con ello, se encontró la variación de los resultados, de acuerdo con la distancia desde la cual se dejó caer el objeto.

Continuando con las pruebas, se realizó otra directamente sobre el sensor piezoeléctrico, con una tela de diámetro de 0.2 milímetros (figura 7), en distancias preestablecidas, con la misma masa equivalente (0.572 kg). Para esto, se realizó la adecuación de un tubo PVC plástico de 90 cm de altura, que permitió el direccionamiento de la masa, como objeto en caída libre directamente sobre el sensor piezoeléctrico.

Figura 7.

Implementación de base para direccionamiento de la masa sobre el sensor



Nota. Base para la medición de la fuerza, por distancias establecidas para el direccionamiento de la masa directamente al sensor piezoeléctrico *Nota:* foto tomada por el equipo de investigadores.

Se recolectaron los datos con una tela de 2.0 mm de grosor, sobre el sensor piezoeléctrico, el cual proporciona un dato más acertado y cercano a las condiciones reales de los apliques con el bastón tonfa, para la reducción de una persona con un uso adecuado de la fuerza. Posteriormente, se realizó la aplicación de las leyes de la física sobre la velocidad de un objeto en caída libre:

$$\text{Velocidad de impacto} = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{2 \times \frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2} \times 0.1 \text{ m}}$$
$$= 1.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De igual forma, se abordan las leyes de la energía cinética, aplicando la siguiente ecuación:

$$Ec = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \times 0.572 \text{ gr} \left(1.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \\ &= 0,56054 \text{ J} \end{aligned}$$

Y terminamos con la ecuación de la fuerza promedio de impacto, que es igual a la energía cinética sobre el desplazamiento después del golpe:

$$\text{Fuerza promedio de impacto} = \frac{0.56054 \text{ J}}{0.001 \text{ m}} = 560.56 \text{ N}$$

El resultado revela una proporción significativa, ya que, en el primer caso, se obtuvo una fuerza de 56.0 N. Es evidente que existe una diferencia considerable entre los valores (del orden de diez veces). Esta disparidad se debe a la amortiguación de la fuerza, debido a la presencia de la lona de 0.5 cm en el traje RedMan, a diferencia de las condiciones que reflejan una situación real según el sensor. A continuación, se evaluó el margen de error de cada prueba, con el propósito de identificar y abordar cualquier desviación posible. Este enfoque busca mantener la credibilidad de los datos adquiridos en un nivel alto y confiable.

Para las siguientes pruebas se tomaron distancias preestablecidas, con la misma masa, para generar los nuevos datos de fuerza (en newtons), estableciendo con estos nuevos datos que la fuerza aumenta significativamente, desde 560 hasta 2637 N. Haciendo un paralelo en los datos anteriores, se denota que las pruebas sobre el traje RedMan generan directamente una amortiguación; en las nuevas pruebas, que son semejantes físicamente a un aplique con el bastón en condiciones ideales, al usar la fuerza para la reducción de una persona, en un contexto real.

Para ratificar todos los datos anteriores, se realizaron nuevas pruebas con un nuevo sensor que permite hallar la fuerza de impacto con otras características de funcionamiento. En este caso, una variable de resistencia, por lo cual se hace necesario utilizar un divisor de tensión para hallar la variabilidad del voltaje del sensor (figura 8), el módulo de Arduino uno, que se adaptó por medio de un divisor de voltaje que, posteriormente, fue medido por un divisor de tensión que reguló la entrada de voltaje.

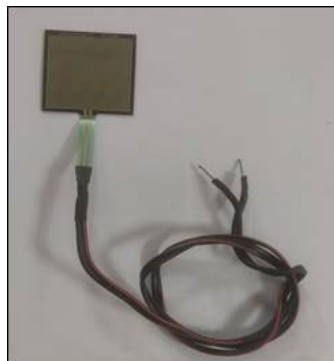
Figura 8.
Arduino uno



Nota. El Arduino uno se implementó para hallar los valores analógicos con su entrada AO. *Nota:* foto tomada por el equipo de investigadores.

Se utilizó el sensor FSR406 resistivo que representa los valores analógicos, dependiendo de la presión ejercida sobre él (figura 9). Los datos técnicos del sensor son: longitud total de 88.9 m; diámetro de área de recepción 40×40 mm; valor de la resistencia 10 MΩ (sin fuerza aplicada) y 50 kΩ para 20 g; rango de medición 100 g a 10 kg de peso; y peso de 1.2 gramos.

Figura 9.
Sensor FSR406



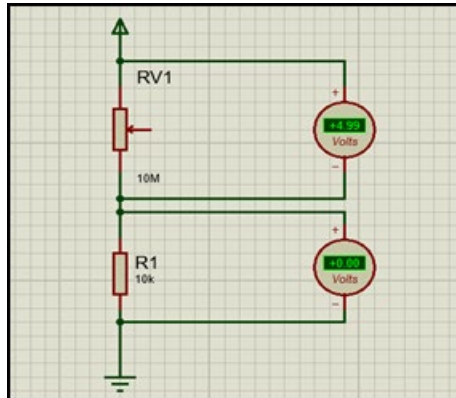
Nota. El sensor permite medir valores analógicos, dependiendo de la presión ejercida sobre él.

Con los anteriores elementos, se construyó el divisor de tensión, como aparece en la figura 10, que permite obtener más de un nivel de tensión, a partir de

una única fuente de alimentación (Riedel, 2005), para lo cual se hace necesario realizar el circuito en el programa Proteus, versión 8.

Figura 10.

Divisor de voltaje con sensor FSR406



Nota. Se emplea el divisor de tensión para tomar el valor analógico del sensor FSR406.

Por medio del divisor de tensión, teniendo los datos preestablecidos de la resistencia en reposo del sensor que es de 10 MΩ y por medio de una resistencia de 10 kΩ, obtenemos una relación de 1/10 000, para tomar los datos de la división de tensión. Por lo cual, se realiza la siguiente ecuación para determinar el valor de la corriente del circuito en reposo. Pero, aun antes, es necesario calcular la resistencia total (RT) del circuito:

$$Resistencia\ Total = Resistencia\ sensor \frac{FSR406}{Resistencia\ 2}$$

$$RT = 10 \frac{M\Omega}{10K\Omega} = 100G\Omega$$

Teniendo ya determinada la resistencia total, podemos hallar ahora la corriente del circuito (I_{total}):

$$I_{total} = \frac{Voltios\ totales}{Resistencia\ total}$$

$$I_{total} = \frac{5 \text{ v}}{100 \text{ G}\Omega} = 50 \text{ nA}$$

Por el circuito circulará una corriente de 50 nA y, a medida que la resistencia en el sensor varíe, aumentará el voltaje en la segunda resistencia. esto, igualmente, se reflejará en la entrada analógica del Arduino Uno (A0). Para obtener este dato, se realiza la configuración del código, por medio del programa Arduino Uno (figura 11), código fuente en C++, para obtener el dato analógico por medio de un divisor de voltaje.

Figura 11.

Código fuente para tomar el dato analógico del Pin A0

```

Proyecto_Fuerza_Sensor_FSR §
int sensor_fuerza=A0;
int led=11;
int lectura;
int brillo;
void setup() {
  pinMode(led, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  lectura=analogRead(sensor_fuerza);
  Serial.print("Lectura Analogica = ");
  Serial.println(lectura);
  //cambio de rango de lectura analogica desde (0-1023)
  brillo= map(lectura, 0, 1023, 0, 255);
  analogWrite(led, brillo);
  delay(100);
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

Nota. Código en C++, para obtener el dato analógico por medio de un divisor de voltaje, que permite hacer las pruebas por medio del sensor FSR406.

Teniendo el circuito para tomar los valores analógicos del sensor, se implementa en el módulo para el direccionamiento de la masa, directamente sobre el sensor. Se realizan las pruebas con una tela de 2 mm, con el fin de simular la prueba lo más cercano a la realidad y relacionarlos con los datos hallados con el sensor piezoeléctrico.

Se realizan pruebas con el sensor FSR406 con divisor de tensión, las cuales proporcionan otros valores en fuerza, lo que ofrece otro enfoque, por medio

de un dispositivo medidor de fuerza. Para ello, se realizaron diversas pruebas, desde diferentes alturas, con la masa preestablecida de 0.572 kg, con el fin de representar las mismas condiciones óptimas, en un aplique tonfa para un procedimiento de policía.

Se analizan los datos de error porcentual en las pruebas. Con lo que se ratifican los datos obtenidos mediante el sensor piezoeléctrico y se calcula un valor semejante a la realidad, a fin de establecerlo tanto el diagrama de flujo como en la programación de los microcontroladores. En la tabla 2, se relacionan los datos recopilados, de los valores asignados en fuerza para cada rango de números, en binario.

Tabla 2.
Valores asignados por fuerza

# rango	codigo ASCII del carácter	carácter identificador del rango	RANGO				FUERZA ASOCIADA (newton)	
			Limite inferior	limite superior	MEDIA dato digital	MEDIA rango de fuerza	>=	<=
1	100	d	11	68	45	276	67	418
2	101	e	69	123	91	560	424	755
3	102	f	124	172	155	1019	816	1127
4	103	g	173	200	188	1401	1285	1487
5	104	h	201	223	211	1724	1638	1822
6	105	i	224	257	235	2002	1908	2185
7	106	j	258	311	278	2242	2077	2508
8	107	k	312	413	344	2452	2224	2944
9	108	l	414	512	482	2637	2265	2801
10	109	m	513	567	542	2965	2807	3102
11	110	n	568	618	592	3239	3108	3378
12	111	o	619	669	643	3518	3384	3657
13	112	p	670	719	694	3797	3663	3934
14	113	q	720	770	744	4070	3939	4210
15	114	r	771	820	795	4349	4215	4486
16	115	s	821	871	845	4623	4492	4762
17	116	t	872	922	896	4902	4768	5041
18	117	u	923	973	947	5181	5047	5321
19	118	v	974	1011	998	5460	5326	5528
20	119	w	1012	1023	1023	5597	5534	5597

Nota. Los valores hacen parte de los asignados en fuerza para cada rango de números, en binario.

En la columna Número de rango, se encuentran los veinte datos que se tomaron en fuerza; y en la columna Código ASCII del carácter, se establece el número que pertenece a cada letra en ASCII. Por otra parte, en la columna Carácter identificador del rango, se relacionan las letras *d* a *w*, como menciona Becerra-Santamaría (2003), determinadas para la denominación de cada rango

de fuerza en el programa como variables nuevas, teniendo en cuenta no repetir variables del anterior proyecto, para no generar conflicto o error.

En las columnas de Rango, Límite inferior y Límite superior, en binario, se asignan los valores desde 11 hasta 1023, recalcando que los diez primeros datos no se tienen en cuenta por la sensibilidad; lo cual causaría la captación de datos no deseados por algún movimiento del usuario. Posteriormente, en las columnas Media dato digital y Media rango de fuerza, se toma el límite superior y se resta el límite inferior. Luego, se divide en dos partes para obtener la media de ese punto:

$$\text{Media dato digital} = \text{límite inferior} \times \frac{(\text{límite superior} - \text{límite inferior})}{2}$$

$$\text{Media dato Digital} = 11 \times \frac{(61 - 11)}{2} = 275$$

Para finalizar, en las columnas de Fuerza asociada (en newtons), se encuentran los valores medidos de fuerza. Estas columnas también tienen un equivalente, hallado con los datos de la práctica. A partir de la fila 10 a la 20, se encuentran los datos de la fuerza equivalente, para lo cual primero se calculó primero la pendiente con la siguiente ecuación:

$$m = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$$

$$m = \frac{160,16 - 74,74}{9 - 1}$$

$$m = 10.6775 \text{ (pendiente)}$$

Por lo que la ecuación de la recta es la siguiente ($x = 10$ y $b = 74.745$):

$$y = mx + b$$

De modo que la fuerza del impacto es la siguiente:

$$\text{Fuerza de impacto} = 10.6775 \times 10 + 74.745$$

$$= 181.52 N$$

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las condiciones ideales de funcionamiento en el traje RedMan, se definen por acer los apliques tonfa directamente donde se encuentren los sensores, como se evidencia en la figura 12. También es necesario tener una postura de pie, sin cruzar los brazos, mientras se lleve el traje; de manera que evite la obturación errónea en los sensores. Y, en todo momento, el traje debe estar totalmente seco, para evitar dañar los componentes electrónicos.

Figura 12.

Prueba del traje RedMan con el uso del bastón policial tonfa



Nota. Las evaluaciones efectuadas en el atuendo protector revelaron una notable eficacia en la absorción del impacto de los golpes con el bastón tonfa en las extremidades.

Además, pudo verificarse que el diseño del traje se adapta de manera adecuada a la forma ergonómica del cuerpo. Con ello se evitaron restricciones en la movilidad, provocadas por la inclusión de las protecciones del material etilvinilacetato —EVA (Otálora et al., 2021).

Fase 3. Diagrama de flujo sobre la ejecución del programa

Teniendo los valores requeridos de la fuerza para cada segmento de datos en binario, se establece el diagrama de flujo de PIC16F688 de microcontroladores

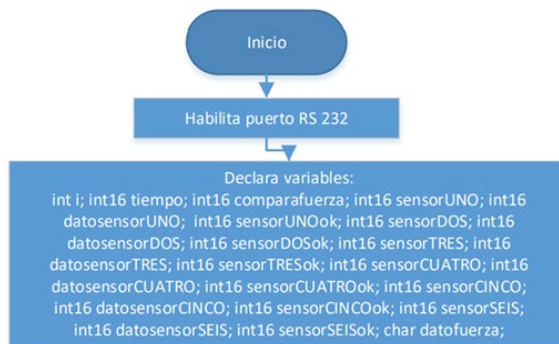
que reciben los datos analógicos y los transforman a formato digital, para enviarlos luego al módulo remoto.

En el inicio del programa, se habilita el puerto RS232 (figura 13), por el cual se envían los datos al módulo remoto que recibirá la señal. Posteriormente, se declaran las variables que van a utilizarse y el tipo de dato, dependiendo de la necesidad. En este caso, las variables importantes incluyen desde *sensor_UNO_ok* hasta *sensor_SEIS*. Estas variables almacenan el dato en número binario, como se dijo.

La variable *sensor_UNO_ok* se establece para almacenar la sumatoria de los datos del canal uno; mientras que la variable *Datosensor_UNO_ok* guarda el resultado del promedio aritmético de las lecturas. Estas variables se definen para cada uno de los seis sensores.

Para el siguiente esquema, en el diagrama de flujo, se realiza la lectura de los piezoeléctricos y se guardan en la variable en *Datosensor_SEIS*, que valida si el dato está en el rango 10-1023, por medio de un condicional *if*, con el objetivo de que solo valide estos datos, entren la ejecución del condicional, donde primero envía el carácter asociado al punto de impacto; después el dato en binario se guarda en la variable *compara fuerza*, para que posteriormente dicha variable sea ingresada en la función *calcula fuerza*.

Figura 13.
Inicialización de las variables

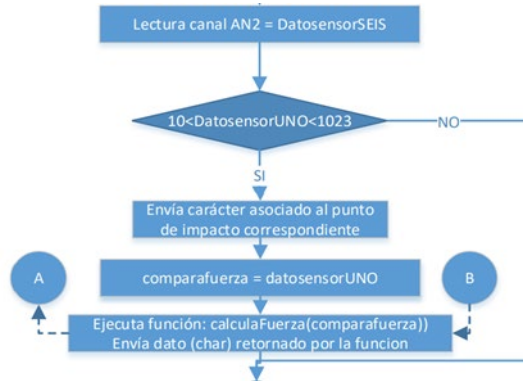


Dentro de esta función, como se describe en la figura 14, el dato se ingresa en el respectivo condicional, dependiendo del valor tomado por la entrada

analógica, inmediatamente después se envía el carácter (d-w), asignado para este rango de fuerza en newtons, mediante el código ASCII correspondiente.

Figura 14.

Lectura de entradas analógicas

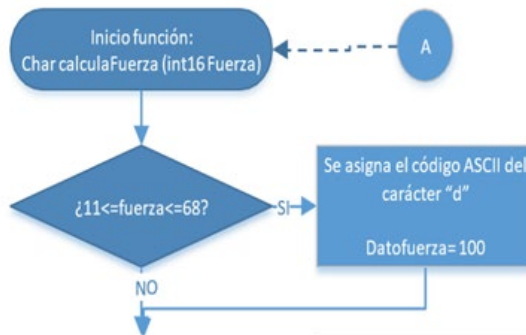


Nota. Diagrama que representa un condicional que tomará el valor analógico desde cierto rango para ingresarlo luego en una función.

En la figura 15 se observa el proceso utilizado para efectuar la ejecución de la función de la lectura del carácter asociado a la fuerza de impacto. En el diagrama de flujo, aparece la función *calcula Fuerza* mencionada.

Figura 15.

Ejecución de función



Nota. Proceso utilizado para efectuar la ejecución de función de la lectura de carácter asociado a fuerza de impacto.

En el mismo sentido, en la figura 16, se muestra el inicio del programa a través de la activación del puerto RS232. Las interrupciones se activan al recibir datos. Ello indica que el receptor RS232 se enciende al recibir información. Luego, entra en una función para validar el tipo de letra en código ASCII, preparándolo para su uso posterior.

Figura 16.

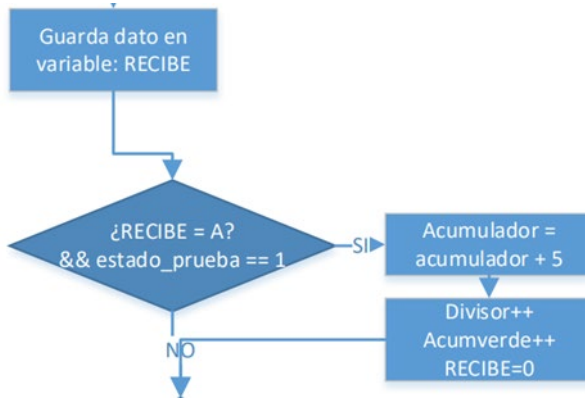
Inicialización de variables

```
Declara e inicializa variables: RECIBE=0, acumulador=0,  
divisor=0, acumVERDE=0, acumAMARILLO=0, acumROJO=0,  
RESULTADO=0, tiempo_inicio=4, estado_prueba=0,  
borrador=0, i=0, fallida =0; acumFUERZA=0; PROMFUERZA  
=0; NumericoFuerza=0; FuerzaNewton=0;
```

Nota. Inicialización de las variables en el microcontrolador del módulo remoto.

En la figura 17, se emplea una estructura condicional *if* para activar una instrucción específica. Durante esta ejecución, se efectúan dos validaciones, usando el operador lógico AND (&&). Esto asegura que, antes de ejecutar la instrucción, ambas condiciones se cumplan. En este caso, las condiciones son recibir "A"; y que la variable estado prueba sea igual a uno (1). Si ambas condiciones se cumplen, se ejecuta la instrucción de incrementar el acumulador en cinco puntos. Al mismo tiempo, la variable *AcumVERDE* aumenta en uno y, finalmente, la variable *RECIBE* se restablece a cero. Esta secuencia asegura que el programa esté listo para recibir el próximo dato y continuar su funcionamiento óptimo. Este mismo enfoque se aplica para evaluar todas las zonas de impacto en el conjunto.

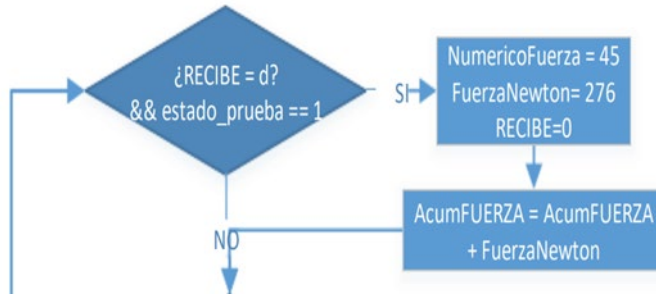
Figura 17.
Condional donde recibe un dato establecido



Nota. Diagrama de flujo que representa la llegada de un dato para, posteriormente, asignarle un valor, dependiendo del lugar donde se aplique la tonfa.

Ahora bien, con respecto a la evaluación de la fuerza de impacto, en la figura 18, se observa que el condicional discrimina, de igual manera, los caracteres identificadores de los veinte rangos de fuerza (d-w). Sin embargo, cambian su variable de recibido y ejecución de la instrucción ya que, para esta ejecución, se reciben las variables para definir los datos. De cumplirse la condición, se ejecuta la instrucción que le asigna las variables *NumericoFuerza* y *FuerzaNewton* el dato numérico 36 y la correspondencia en fuerza de 37 newtons, respectivamente; también se acumula el valor de fuerza de cada impacto en la variable *AcumFUERZA*, mientras que el programa esté ejecutándose, parar tomar los datos; y finaliza mostrando en pantalla el valor promedio de fuerza (Becerra-Santamaría, 2003).

Figura 18.
Condional dato asociado a fuerza



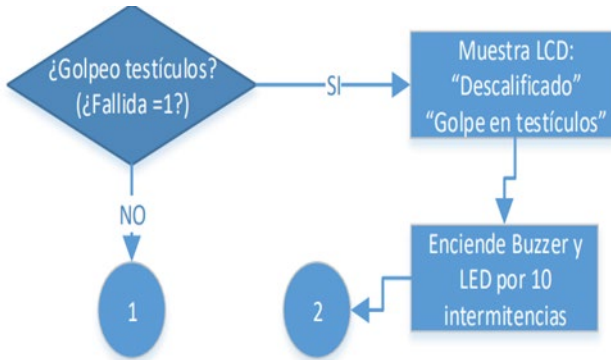
Nota. En el diagrama de flujo se recibe un dato, que se ingresa en un condicional *if* que determina el valor de la fuerza, dependiendo del dato obtenido.

Principio del formulario. Después de definir las variables y establecer las características de cada dato que llegue, con sus respectivas instrucciones; se determina un botón que se encuentra en módulo de pantalla que se le asigna una variable. Esta variable, cada vez que se oprime el botón, se incrementa en uno (+1). Cuando esta variable vale uno (=1), se inicializa el programa de prueba y, para esto, se inicializan todas las variables. En este paso, el programa está atento a recibir la señal de cualquier dato definido en el código ASCII (Becerra-Santamaría, 2003), este suma los datos en fuerza en una variable previamente definida; también toma el dato predefinido en la parte del traje asignada y, dependiendo del punto, aumenta un puntaje específico y, paralelamente, se almacena en otra variable. Todo este procedimiento sucede en una secuencia, mientras que no se oprima nuevamente el botón iniciar.

Si se presiona el botón mencionado, el programa automáticamente muestra en pantalla la fuerza promedio, el dato de fuerza en binario, el puntaje que el usuario tuvo durante la prueba y la cantidad de impacto en cada zona del traje, catalogadas como amarilla, roja y verde.

El diagrama de flujo también define que, cuando el usuario ejecute una aplicación con la tonfa, durante la prueba, en los testículos, el programa automáticamente muestra en la pantalla el mensaje de “Descalificado” y “Golpe en los testículos”. Seguidamente, enciende el Buzzer y el LED intermitente, advirtiendo que la prueba falló (figura 19).

Figura 19.
Condional cuando recibe un golpe bajo



Nota. En el diagrama de flujo, se establece que, cuando se realiza un aplique de tonfa sobre los testículos, inmediatamente se genera una alerta.

Fase 4. Construcción del código fuente

Se emplea el *software* Pic C Compiler para programar el código en C, un lenguaje de nivel intermedio que se convierte en lenguaje de máquina para microcontroladores. El programa se aplica al PIC (16F688) para receptores de señal analógica (codigoelectronica.com).

Las variables *sensor_UNO* almacenan datos binarios de sensores piezoeléctricos. Y *datosensor_UNO* guarda el promedio de lecturas. Mientras que *Sensor_UNO_ok* acumula datos del canal uno, para seis sensores diferentes. El bucle *for* toma 40 muestras del canal analógico, promediados en la variable *datosensor_UNO*.

En la siguiente sección, el código emplea un condicional *if* para filtrar datos de sensores, excluyendo valores iniciales por sensibilidad. Entra al condicional, enviando la letra correspondiente al área del cuerpo y guarda *datosensor_SEIS* en *compara_fuerza*. La función *calcula_Fuerza* asigna una fuerza según el valor.

En el programa PIC (16F88) "Remote", las variables se declaran con tipos y rangos. Un condicional *if* filtra datos de letras minúsculas con puerta lógica

AND y valida valores asignados para *numérico_Fuerza* y *fuerza_Newton* en caso de ciertas letras.

Finalmente, un condicional *if* detecta *estado prueba* igual a uno (=1), lo que indicando un golpe bajo (en los testículos). La prueba se detiene, mostrando "Descalificado" y encendiendo el *buzzer* con intermitencia para señalar una prueba fallida y destacar áreas de sensibilidad.

Discusión

Mediante la implementación del enfoque de optimización propuesto en el traje de instrucción para el sistema táctico policial, se ha llegado a una conclusión fundamental. La adición de variables nuevas en el prototipo del traje diseñado para la instrucción en la aplicación del bastón tonfa ha permitido calcular los newtons de fuerza promedio generados por cada golpe en distintas áreas del cuerpo. Este avance resulta en una maximización efectiva de las capacidades tecnológicas incorporadas al traje. De igual importancia es que este enfoque contribuye a una formación más sólida y un entrenamiento más eficaz en relación con el uso adecuado de la fuerza.

Para lograr la medición de la fuerza (en newtons) en cada golpe con el bastón tonfa, se llevó a cabo una modificación tanto en el algoritmo como en el lenguaje de programación del prototipo del traje. Esta adaptación permitió una nueva instrucción, con el propósito de aprovechar plenamente los recursos electrónicos disponibles en el prototipo, facilitando la medición y la notificación de la fuerza del impacto.

Durante la validación del prototipo modificado, se realizaron diversas pruebas. Estas se llevaron a cabo en ambientes controlados, lo que posibilitó una correlación precisa entre los datos digitales y la fuerza de impacto real, además de ajustes finos al algoritmo. Los resultados de estos testeos demostraron ser altamente favorables en términos de aplicabilidad en la enseñanza y el reentrenamiento del personal uniformado.

A medida que se avanzó en la evolución del prototipo, se evidenció la relevancia de considerar una serie de condiciones fundamentales para su óptimo funcionamiento. Específicamente, se confirmó que las condiciones ambientales

cumplen un papel crucial en el rendimiento del traje de instrucción. Para asegurar una operación consistente y precisa, se reconoció la importancia de mantener el prototipo en un entorno con bajos niveles de humedad, a fin de evitar cualquier afectación del circuito interno.

Adicionalmente, se identificó que la efectividad de las prácticas y las mediciones depende de si realizan directamente sobre el traje. Esto implica eliminar cualquier obstáculo que pudiera interferir con la precisión de los sensores. La obtención de datos óptimos y representativos del desempeño del traje de instrucción se convierte así en un aspecto esencial.

En última instancia, al considerar estas condiciones y aplicarlas de manera rigurosa en el funcionamiento del prototipo, se garantiza que los datos recopilados sean muy cercanos a las situaciones reales. Esto permite una mejora continua del traje de instrucción y asegura entrenamiento y capacitación de calidad para el personal.

Limitaciones y proyección del estudio

Las investigaciones sobre el traje de instrucción, si bien son valiosas, también enfrentan limitaciones, por lo que abren puertas a estudios futuros que mejoren su eficacia y aplicabilidad. Aquí se presentan algunas limitaciones y potenciales áreas de investigación:

Limitaciones del estudio:

1. Realismo limitado: los trajes de instrucción actuales, a menudo, no pueden replicar completamente las condiciones y el realismo de situaciones de aplicación real de la fuerza. Las limitaciones en la respuesta táctil o sensorial pueden afectar la percepción de los entrenados.
2. Costos: la adquisición y el mantenimiento de estos trajes de instrucción pueden ser costosos. Ello puede limitar su disponibilidad en ciertas instituciones y programas de entrenamiento.
3. Aprendizaje cognitivo frente a aprendizaje físico: los trajes se centran, principalmente, en la respuesta física a la fuerza aplicada. Pero la toma de

decisiones y el entrenamiento cognitivo también son aspectos cruciales en situaciones de uso de la fuerza.

4. **Generalización:** es importante considerar cómo las habilidades adquiridas en el entrenamiento con estos trajes se traducen efectivamente a situaciones reales. La generalización del aprendizaje es esencial.

Estudios futuros:

1. **Mejorías en la tecnología del traje:** investigaciones adicionales pueden centrarse en el desarrollo de trajes de instrucción más avanzados, que aborden las limitaciones actuales, a fin de ofrecer una experiencia de entrenamiento más realista y efectiva.
2. **Evaluación del rendimiento:** pueden llevarse a cabo estudios que evalúen el rendimiento de los agentes de la ley, que han sido entrenados con estos trajes en situaciones reales, para medir la eficacia del entrenamiento.
3. **Entrenamiento cognitivo:** pueden diseñarse programas de entrenamiento complementarios que se centren en el desarrollo de habilidades cognitivas, como la toma de decisiones, la comunicación y la gestión del estrés, para complementar el entrenamiento con el traje.
4. **Impacto psicológico:** pueden realizarse estudios para evaluar el impacto psicológico de utilizar estos trajes en el entrenamiento, tanto en términos de confianza como de estrés psicológico.
5. **Efectividad en situaciones específicas:** la efectividad del entrenamiento con trajes de instrucción puede variar según la situación (por ejemplo, enfrentamientos con armas de fuego, situaciones de rehenes o disturbios, entre otras). Investigaciones posteriores pueden evaluar cómo se adapta el entrenamiento a diferentes contextos.

Conclusiones

Con el desarrollo de optimización propuesto, con el que se diseñó el traje de instrucción para el sistema táctico policial, se llegó a la conclusión de que, incorporando nuevas variables en el prototipo de traje para instrucción de

aplicación con bastón tonfa, es posible calcular de manera eficaz la fuerza promedio ejercida con cada golpe en diferentes zonas del cuerpo (fuerza medida en newtons), lo que permite un mejor aprovechamiento de los recursos tecnológicos del traje; así como una mejor capacitación y entrenamiento en el uso racional de la fuerza.

Para calcular la fuerza, en cada golpe con el bastón tonfa, fue necesario modificar el algoritmo y el lenguaje de programación del prototipo del traje para una nueva instrucción. Ello, para aprovechar los recursos electrónicos disponibles en el prototipo, capaces de facilitar la medición y la notificación de la fuerza de impacto.

Dentro de las prácticas y las pruebas realizadas en el traje de funcionalidad al prototipo modificado, mediante testeos de impacto, en ambientes controlados que facilitaron la aproximación de la fuerza de impacto con los datos digitales y ajustes al algoritmo, fue posible obtener resultados muy favorables para la enseñanza y reentrenamiento del personal uniformado.

En el desarrollo de una mejora continua del prototipo, se observó que las condiciones reales de funcionamiento del traje de instrucción implican hacerlo en condiciones de baja humedad, de modo que esta no afecte las condiciones del circuito; así también, hacer las practicas directamente sobre el traje y que no haya obstáculos que puedan interferir en la medición de los sensores, esto para obtener los datos más precisos dentro del funcionamiento del traje de instrucción.

Referencias

- Asamblea Nacional Constituyente (1991). *Constitución política de Colombia*. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991_pr015.html#TRANSITORIO%20ACL02021-10
- Becerra-Santamaría, C. (2003). *Lenguaje C++ básico. Para todos los niveles*. Autor.
- García-Córdoba, F., Morales, A. & Muñoz, C. (2010). De la investigación científica a la tecnológica en las organizaciones. *Revista UPIICSA*, 53-54, 3-13.

- Otálora, J., Barrera, C., Garzón, J., Ávila, H., Berrío, J. & Ospina, W. (2021). Traje de Instrucción como medio de evaluación en el sistema táctico básico policial. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 14(1), 57-75. <https://doi.org/10.22335/rlct.v14i1.1518>
- Policía Nacional de Colombia (2009, 05 de noviembre). *Manual de Operaciones Especiales para la Policía Nacional* [Resolución 03517 de 2009]. https://www.policia.gov.co/sites/default/files/operaciones.especiales.pnc_.pdf
- Policía Nacional de Colombia (2017a, 23 de junio). *Reglamento para el uso de la fuerza y el empleo de armas, municiones, elemento y dispositivos menos letales, por la Policía Nacional* [Resolución 02903]. <https://www.policia.gov.co/sites/default/files/resolucion-02903-uso-fuerza-empleo-armas.pdf>
- Policía Nacional de Colombia. (2017b, 29 de junio). *Manual para el servicio en manifestaciones y control de disturbios para la Policía Nacional* [Resolución 03002 de 2017]. https://www.policia.gov.co/sites/default/files/resolucion_03002_1.pdf
- Policía Nacional de Colombia (2020, 01 de septiembre). *Manual de ciencia, tecnología e innovación de la Policía Nacional de Colombia* [Resolución 02078 de 2020]. https://policia.edu.co/wp-content/uploads/2023/02/r_02078_010920_manual_ciencia_t_innovacion.pdf
- Policía Nacional de Colombia (2022). *Informe referenciado ASUIN-GUCID-29.25* [documento interno].
- Policía Nacional de Colombia (2023, 05 de marzo). *Línea de disciplina en derechos humanos de la Policía Nacional*. <https://www.policia.gov.co/dd-hh/linea-disciplina>
- RedMan Training Gear (2019). *Trajes de XP. Equipos de entrenamiento*. <http://es.redmangear.com/training-gear/redman-xp.html>
- Riedel, J. (2005). *Circuitos eléctricos*. Prentice Hall.
- Romero, R., Mateu, M. & Rodríguez, A. (2019). La investigación tecnológica en la culminación de estudio del profesional de la educación en ciencias técnicas. *Varona*, 3. <https://www.redalyc.org/journal/3606/360671619012/html/>

Ruiz-Otálora, J. H. R., Jiménez, C. B., Santos, J. L. G., Bermeo, H. H. Á., Pino, J. L. B., & Díaz, W. A. O. (2022). Traje de instrucción como medio de evaluación en el Sistema Táctico Básico Policial. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 14(1), 57-74.

Young, H. (2009). Física universitaria. Addison Wesley.