UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA TEXTIL

TEMA:

"DESARROLLO DE UN TEXTIL INTELIGENTE CON SENSORES DE FATIGA MUSCULAR PARA LOS DEPORTISTAS DE BALONCESTO UTN"

AUTOR: Lamiña Pillajo Brenda Adali

DIRECTOR: MSc. Lara Castro Lenin Omar

Ibarra-Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art.144 de la Ley de Educación Superior, hago entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Lamiña Pillajo Brenda Adali

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de un textil inteligente con sensores de fatiga muscular para los deportistas de baloncesto UTN.
AUTOR:	Lamiña Pillajo Brenda Adali
FECHA:	20 de julio del 2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ Pregrado ☐ Posgrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Textil
DIRECTOR:	MSc. Lara Castro Lenin Omar

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de julio de 2026.

El AUTOR.

Firma: .....

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
BRENDA ADALI LAMIÑA PILLAJO

Nombre: Lamiña Pillajo Brenda Adali

C.I. 1752637965

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 20 días del mes de julio del 2026.

MSc. Lara Castro Lenin Omar

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
LENIN OMAR LARA CASTRO

(f): ----------

MSc. Lara Castro Lenin Omar

C.C.: 1002748125

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El comité calificador del trabajo de Integración Curricular “Desarrollo de un textil inteligente con sensores de fatiga muscular para los deportistas de baloncesto UTN”, elaborado por Lamiña Pillajo Brenda Adali, previo a la obtención de título de INGENIERA TEXTIL, aprueba el siguiente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
LENIN OMAR LARA CASTRO

(f): ----------

MSc. Lara Castro Lenin Omar

C.C.: 1002748125

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
OMAR VINICIO GODOY COLLAGUAZO

(f): ----------

MSc. Godoy Collaguazo Omar Vinicio

C.C.: 1003083936

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por ser sal y luz en cada paso de este camino, por darme sabiduría, paciencia y la fe necesaria para alcanzar esta meta.

A la dulce memoria de mis bisabuelitos, que desde el cielo me acompañan y supieron que este día llegaría.

A mis padres y familia, por su apoyo incondicional, por su amor y por ser un ejemplo de perseverancia para nunca rendirme.

Con mucho aprecio, Brenda Adali

AGRADECIMIENTO

Extiendo un sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de esta etapa académica de mi vida. A mis padres y hermanos por impulsarme a alcanzar mis objetivos, por creer en mí y ser una fuente de inspiración para mí. Gracias por brindarme siempre ese apoyo incondicional y por no dejar que me rinda jamás.

A mis abuelos, tíos y familia por su presencia incondicional, por sus palabras de aliento en cada momento y por esa motivación constante que me han dado cada día.

A mis amigos de la universidad, sobre todo a mi grupo "los pibes", por su apoyo constante, por las risas compartidas y por hacer de esta una experiencia inolvidable.

A la Universidad Técnica del Norte, por abrirme sus puertas y brindarme un espacio de aprendizaje de calidad y crecimiento personal.

Lamiña Pillajo Brenda Adali

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo desarrollar y validar una prenda inteligente para el monitoreo en tiempo real de la actividad muscular en deportistas de baloncesto de la Universidad Técnica del Norte, con la finalidad de proporcionar una herramienta capaz de detectar variaciones musculares por esfuerzo físico y contribuir en su rendimiento. Metodológicamente, el estudio adoptó un enfoque mixto de alcance experimental y aplicativo. Para la construcción de la prenda, se seleccionó una muslera deportiva elaborada con neopreno, un textil técnico compuesto por un núcleo de policloropreno recubierto de tejido de punto de poliéster y un espesor de 1 mm, seleccionado para garantizar un ajuste ergonómico y el contacto constante de los sensores con el músculo. El sistema electrónico estuvo conformado por un sensor muscular EMG AD8832, un microcontrolador ESP32 y el software Arduino para captar, procesar y transmitir las señales electromiográficas del músculo. La información se procesó en una aplicación móvil desarrollada en Android Studio, donde se visualiza el estado muscular y almacena los datos en archivos Excel. Las señales registradas fueron analizadas través del cálculo RMS, obteniendo una media de 80,42 RMS en estado de reposo y 451,49 RMS posterior al ejercicio. Asimismo, las pruebas t de Student evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre ambas condiciones ($p = 0,00123$). Finalmente, la evaluación basada en la norma ISO 25010, considerando características de funcionalidad y usabilidad, presentó niveles de aceptación superiores al 75% en todos los indicadores evaluados, concluyendo que el textil inteligente es una herramienta funcional y viable para el monitoreo de la actividad muscular en los deportistas.

Palabras claves: Textil inteligente, sensores de fatiga muscular, baloncesto, neopreno, Arduino.

ABSTRACT

The research aimed to develop and validate a smart garment for the real-time monitoring of muscle activity in basketball players at the Universidad Técnica del Norte, with the goal of providing a tool capable of detecting muscle variations due to physical exertion and contributing to their performance. Methodologically, the study adopted a mixed-methods approach with an experimental and applied scope. To construct the garment, a neoprene sports thigh sleeve was selected a technical textile consisting of a polychloroprene core coated with polyester knit fabric and a thickness of 1 mm, chosen to ensure an ergonomic fit and constant sensor-to-muscle contact. The electronic system comprised an AD8832 EMG muscle sensor, an ESP32 microcontroller, and Arduino software to capture, process, and transmit the muscle's electromyographic signals. The data were processed via a mobile application developed in Android Studio, which displays muscle status and stores data in Excel files. The recorded signals were analyzed using the RMS calculation, yielding a mean of 80.42 RMS at rest and 451.49 RMS post-exercise. Furthermore, Student's t-tests revealed statistically significant differences between the two conditions ($p = 0.00123$). Finally, an evaluation based on the ISO 25010 standard, considering functionality and usability characteristics showed acceptance levels exceeding 75% across all evaluated indicators, leading to the conclusion that the smart textile is a functional and viable tool for monitoring muscle activity in athletes.

Keywords: Smart textiles, muscle fatigue sensors, basketball, neoprene, Arduino.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I **1**

INTRODUCCIÓN **1**

1.1 Problema de investigación **1**

1.2 Objetivos **2**

1.2.1 Objetivo general 2

1.2.2 Objetivos específicos 2

1.3 Formulación del problema de investigación **2**

1.4 Justificación **3**

1.5 Características del sitio del proyecto **4**

CAPÍTULO II **6**

MARCO TEÓRICO **6**

2.1 Antecedentes **6**

2.2 Estudios previos **7**

2.2.1 Definición y evolución de los textiles inteligentes 7

2.2.2 Aplicación de sensores en textiles 9

2.2.3 Textiles inteligentes aplicados al deporte 9

2.2.4 Fatiga muscular en la práctica del baloncesto 10

2.2.5 Integración de microcontroladores en textiles 11

2.3 Marco Legal **11**

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador 11

2.3.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte 12

2.4 Marco conceptual 13

2.4.1 Textiles Inteligentes 13

2.4.2 Neopreno 14

2.4.3 Sensores en textiles inteligentes 14

2.4.4 Fatiga muscular 16

2.4.5 Índice del estado del músculo 16

2.4.6 Componentes electrónicos 17

2.4.7 Audaces 360 19

CAPÍTULO III 21

METODOLOGÍA 21

3.1 Enfoque de investigación mixto 21

3.2 Tipos de investigación 22

3.2.1 Investigación Aplicada 22

3.2.2 Investigación Experimental 22

3.3 Técnica de investigación cualitativa y cuantitativa 24

3.4 Flujograma del proceso investigativo 24

3.4.1 Flujograma general 25

3.4.2 Flujograma muestral 25

3.5 Materiales y Equipos 27

3.5.1 Materiales 27

3.5.2 Equipos de confección 31

3.6 Normas de Referencia 32

3.6.1 Adecuación Funcional 33

3.6.2 Usabilidad 33

3.7 Procedimiento 34

3.7.1 Esquema y diseño del circuito 34

3.7.2 Diseño, patronaje y confección 36

3.7.3 Integración de componentes electrónicos 38

3.7.4 Creación de la app móvil 39

3.7.5 Evaluación de la prenda 41

CAPÍTULO IV 43

RESULTADOS Y ANÁLISIS 43

4.1 Resultados 43

4.2 Monitoreo del músculo 43

4.2.1 Estadística descriptiva de los datos 46

4.2.2 Normalidad de datos 46

4.2.3 Pruebas t de Student 47

4.2.4 Tamaño del efecto e intervalos de confianza 49

4.2.5 Interpretación de resultados 51

4.3 Evaluación de la prenda 52

4.3.1 Evaluación de la funcionalidad 53

4.3.2 Interpretación de resultados de la funcionalidad 53

4.3.3 Evaluación de la usabilidad 55

4.3.4 Interpretación de resultados de la usabilidad 56

CAPÍTULO V 58

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58

5.1 Conclusiones 58

5.2 Recomendaciones 59

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61

ANEXOS 70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Índice del estado muscular 17

Tabla 2 Características ESP32 19

Tabla 3 Tipos de variables en el estudio 23

Tabla 4 Especificaciones de la tela neopreno 28

Tabla 5 Sensor muscular EMG AD8832 y sus especificaciones 29

Tabla 6 Características del switch 31

Tabla 7 Especificaciones de la máquina de confección 32

Tabla 8 Proceso de ensamblado del textil inteligente 38

Tabla 9 Variables de control en las pruebas de campo 42

Tabla 10 Resultados RMS y estado del músculo 44

Tabla 11 Resultados de las pruebas de campo 45

Tabla 12 Estadística descriptiva de los datos del sensor 46

Tabla 13 Prueba t de Student para muestras emparejadas 48

Tabla 14 Pruebas t de Student por género 50

Tabla 15 Datos de validación de la adecuación funcional 53

Tabla 16 Datos de validación basados en la usabilidad 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del laboratorio de CTEX 5

Figura 2 Fibras Inteligentes 8

Figura 3 Traje inteligente 14

Figura 4 Sensores textiles 15

Figura 5 Arduino 18

Figura 6 Microcontrolador ESP32 18

Figura 7 Audaces tizada 20

Figura 8 Flujograma general de la elaboración del textil inteligente 25

Figura 9 Flujograma muestral del desarrollo del textil 26

Figura 10 Velcro de dos caras 28

Figura 11 Microcontrolador ESP32 de 30 pines 30

Figura 12 Batería de litio 31

Figura 13 Indicadores de calidad según la norma ISO 25010 32

Figura 14 Esquema del circuito del sensor 35

Figura 15 Código de muestreo de la señal del músculo 35

Figura 16 Diseño de muslera deportiva 36

Figura 17 Patrón de la prenda 37

Figura 18 Corte piezas directamente en la tela 37

Figura 19 Integración de componentes 39

Figura 20 Estructura visual de la aplicación 40

Figura 21 Datos finales y almacenamiento de archivos generados 41

Figura 22 Prueba de normalidad de la variable diferencia (posterior al ejercicio – reposo) 47

Figura 23 Valor RMS en reposo y posterior al ejercicio 51

Figura 24 Gráfica de la funcionalidad 54

Figura 25 Gráfica de resultados de usabilidad 56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Código de programación utilizado para la calibración del sensor y Bluetooth..... 70

Anexo 2 Patronaje, corte y ensamblado de la prenda 70

Anexo 3 Evidencia de pruebas de campo realizadas en la institución UTN 71

Anexo 4 Encuesta formulada con base en la norma ISO 25010 y escalas de Likert..... 72

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

En el mundo de los deportes de alto rendimiento, particularmente en el baloncesto, los deportistas están expuestos a una exigencia física constante que eleva significativamente el riesgo de lesiones. Según Adámez Gordo et al. (2024), el baloncesto es un deporte competitivo, lo que incrementa aún más la posibilidad de sufrir una lesión, siendo más prominentes las extremidades inferiores.

Este deporte suele involucrar una gran variedad de movimientos y un contacto físico constante, no solo entre rivales, sino también entre compañeros del mismo equipo, sumándose a ello las características físicas de los jugadores. Por estos factores, Aksović et al. (2024) mencionan que el baloncesto presenta diversos tipos de lesiones, tanto agudas como aquellas ocasionadas por la repetición de movimientos, como sobrecarga muscular, debido a los saltos constantes y al alto nivel de exigencia física durante el juego. En algunos casos, incluso pueden combinarse varios mecanismos lesionales al mismo tiempo.

Entre las lesiones más comunes se encuentran las contracturas y desgarros musculares; esta suele ser la más frecuente, puesto que suele presentarse a lo largo de la trayectoria de los jugadores que están expuestos a grandes jornadas de entrenamiento, situándose en los primeros puestos (Montañés, 2020). Esta lesión es tan usual que la mayoría de los jugadores la han experimentado en algún momento de su carrera, ya sea en forma leve o con mayor gravedad.

Con el propósito de contribuir al monitoreo de la actividad muscular, surge la necesidad de desarrollar un textil inteligente que responda a las demandas específicas de esta disciplina, es decir, que sea capaz de detectar señales musculares después de haber realizado esfuerzo físico y

que responda de manera inmediata. Esta información permitirá identificar cambios en la actividad muscular, proporcionando información que apoye la toma de decisiones del deportista y el entrenador. Además, se busca que este textil sea funcional, ligero y resistente, ya que el baloncesto presenta movimientos intensos y las condiciones cambiantes requieren prendas altamente especializadas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un textil inteligente con sensores de fatiga muscular para los deportistas de baloncesto UTN.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar materiales innovadores y tecnologías textiles que permitan mejorar las propiedades en las prendas deportivas.
- Integrar programas y sensores musculares con sistemas de ESP32 + Arduino para poder obtener señales y prevenir las diferentes lesiones.
- Elaborar una prenda deportiva que integre propiedades mejoradas adecuadas para las condiciones específicas del deporte.
- Evaluar la funcionalidad del textil desarrollado mediante pruebas realizadas en deportistas de la disciplina.

1.3 Formulación del problema de investigación

El presente proyecto investigativo se desarrolla bajo un enfoque experimental y documental, ya que se hará el desarrollo y evaluación de un textil deportivo inteligente integrado con sensores de fatiga muscular para contribuir al monitoreo preventivo de posibles alteraciones musculares en los jugadores de baloncesto de la Universidad Técnica del Norte (UTN).

Esta prenda deportiva estará diseñada con un material utilizado comúnmente en el deporte, como el neopreno, seleccionado por su alta resistencia, flexibilidad, elasticidad y adaptabilidad al cuerpo. Adicionalmente, se tomaron en cuenta las condiciones específicas del baloncesto. Los sensores musculares y los sistemas electrónicos se incorporan mediante cables, facilitando la conexión sin alterar las propiedades del textil.

Del mismo modo, el textil integra un instrumento de datos cuantitativos para la obtención de datos en tiempo real, mediante pruebas prácticas a 10 deportistas de alto rendimiento de baloncesto de la UTN, y se aplicarán encuestas para validar su funcionalidad en la detección de respuestas musculares. Los datos obtenidos permitirán identificar posibles riesgos a partir del monitoreo de la actividad muscular durante la práctica deportiva.

Finalmente, la calidad del textil inteligente se evaluará con base en la norma ISO 25010, principalmente en los criterios de funcionalidad y usabilidad (ISO 25000, 2024). Para ello, al finalizar las pruebas de campo se aplicará una encuesta a los deportistas con el fin de conocer su experiencia de uso y la percepción sobre el funcionamiento.

1.4 Justificación

La incorporación de tecnologías en los textiles ha transformado la industria de la moda al ir más allá de la estética y priorizar la funcionalidad. Ochoa y Zuluaga (2022) señalan que los textiles tecnológicos son materiales capaces de ampliar la interacción con el medio ambiente, modificando sus propiedades para ofrecer beneficios adicionales al usuario.

En un contexto de transformación constante y con el creciente interés por llevar un estilo de vida activa, la práctica deportiva ha aumentado, especialmente en disciplinas exigentes como el baloncesto. Este deporte demanda mucho físicamente, y los deportistas tienen probabilidad de sufrir lesiones, especialmente a nivel muscular, además de que experimentan una disminución en

su rendimiento si no se monitorea adecuadamente su condición física (Adámez Gordo et al., 2024). Por esta razón, la industria textil ha incorporado la tecnología avanzada, como los sensores musculares, que, según Ahmed et al. (2020) ayudan a revisar la salud muscular mediante la colocación de electrodos en la piel, con el fin de recopilar datos de las contracturas musculares.

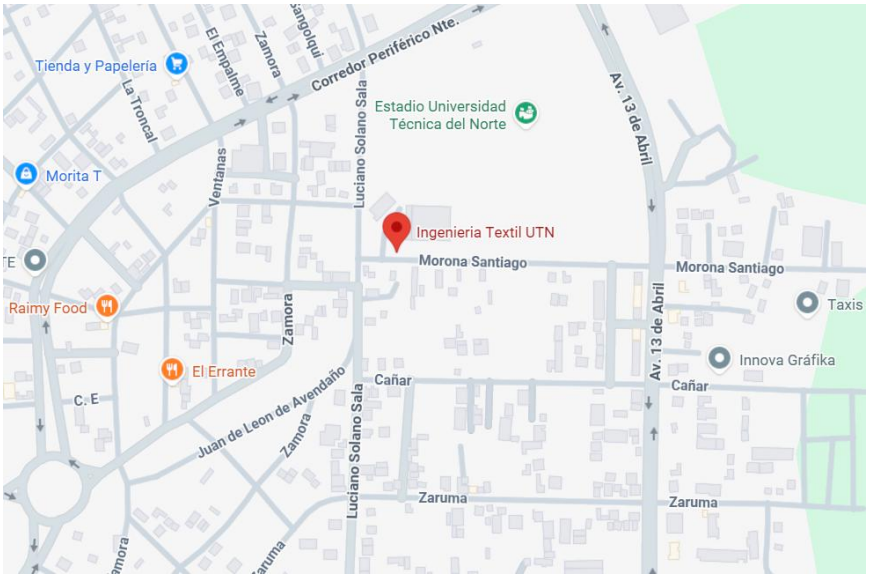
Ante esta situación, surge la necesidad de desarrollar un textil inteligente con sensores de fatiga muscular que permita monitorear de forma continua la actividad muscular de los deportistas. La información obtenida facilitara el análisis del comportamiento del músculo durante el esfuerzo y aportara datos útiles para una planificación más adecuada del entrenamiento. De esta manera, la propuesta buscara contribuir tanto al seguimiento de la actividad muscular como al bienestar de los deportistas.

1.5 Características del sitio del proyecto

El proyecto de investigación tendrá lugar en los laboratorios de la Carrera de Textiles (CTEX). Este espacio cuenta con laboratorios equipados con maquinaria estandarizada y tecnología avanzada para el diseño, confección y evaluación de textiles. Estas instalaciones resultan fundamentales para la elaboración y prueba del prototipo textil (ver **Figura 1**). De igual manera, el entorno académico ofrece el soporte necesario para realizar ensayos experimentales, permitiendo la evaluación del textil inteligente en condiciones controladas. La carrera de Textiles se encuentra ubicada en las coordenadas 0.3782531210228751, -78.12389737777924.

Figura 1

Ubicación del laboratorio de CTEX



Nota. La figura muestra las coordenadas de ubicación de la carrera de Ingeniería Textil, donde se encuentran las máquinas que se utilizaron para el desarrollo del textil inteligente. Adaptado de Google Maps (2025).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En los últimos años, la integración de la tecnología en la industria textil ha permitido el desarrollo de productos innovadores como los textiles electrónicos y textiles inteligentes, que facilitan la incorporación de componentes electrónicos en los distintos tipos de tejidos, facilitando funciones avanzadas como la medición y el análisis de señales en tiempo real (Sankauskaite et al., 2023).

Gracias a la tecnología, hoy en día es posible contar con una generación de prendas capaces de superar su función tradicional, ofreciendo soluciones en áreas como la salud, el deporte y el bienestar. Medagedara et al. (2024) resaltan la evolución de los textiles inteligentes, que han pasado de las fibras metálicas a la incorporación de polímeros conductivos y elastómeros avanzados, presentando una mejora en la adaptabilidad, precisión de las señales y durabilidad de los sensores, convirtiéndolos en herramientas claves para el monitoreo de la salud y rendimiento deportivo.

En el ámbito deportivo, estas tecnologías resultan esenciales para optimizar el rendimiento físico y monitorear la actividad muscular. Gholami et al. (2020) destacan que los sensores textiles captan la respuesta muscular durante la actividad física, proporcionando información en tiempo real que optimiza toma de decisiones del entrenador sobre la intensidad y tiempo del entrenamiento. En este contexto, Etana (2025) sostiene que “los electrodos textiles representan un avance fundamental en el monitoreo de la actividad muscular, al ofrecer una solución ergonómica, reutilizable y eficiente para la captura de señales electromiográficas durante la actividad física”

(p. 1). Estos textiles con sensores integrados están transformando la forma en la que los deportistas entrenan, compiten y se recuperan, al centrarse en el seguimiento de su bienestar físico.

El baloncesto, al ser un deporte de alto impacto físico, enfrenta el reto de actualizar sus entrenamientos y estrategias. Distintas investigaciones han empleado sensores integrados en textiles para evaluar la carga de ejercicio en los jugadores, midiendo en tiempo real variables como ácido láctico y la glucosa, lo cual es clave para optimizar el rendimiento y dar seguimiento al músculo (Zeng et al., 2024). Sin embargo, el uso de este tipo de tecnología todavía no es habitual en el deporte universitario, lo cual resalta la importancia de desarrollar soluciones accesibles y orientadas a las necesidades de esta disciplina.

Tomando en cuenta las investigaciones previas y los beneficios observados que ofrecen el uso de textiles inteligentes, este proyecto propone implementar estos avances tecnológicos en escenarios deportivos reales, demostrando que la tecnología puede aportar beneficios al deporte. Para ello, se implementarán sensores en prendas deportivas, buscando ofrecer una solución práctica, eficaz y cómoda para el monitoreo de la actividad muscular, contribuyendo al fortalecimiento físico y al desarrollo integral de los deportistas.

2.2 Estudios previos

En esta sección se presentan los elementos vinculados con la investigación, los fundamentos que respaldan el estudio y las investigaciones previas.

2.2.1 Definición y evolución de los textiles inteligentes

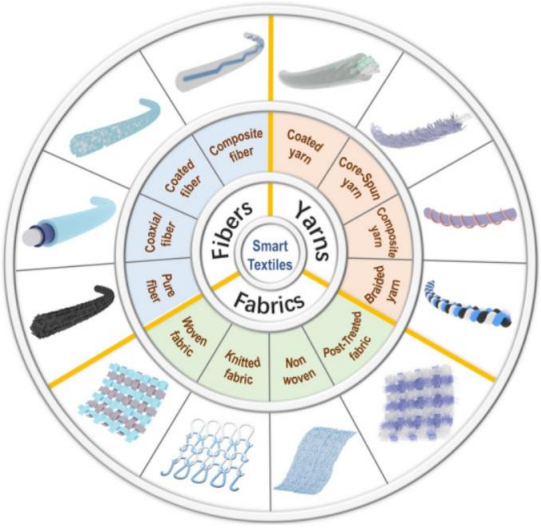
De acuerdo con Lara y Vaca (2025), los avances de la tecnología han cambiado constantemente, generando debates sobre su aporte y posibles amenazas. Actualmente, la industria textil y de la moda ha generado un gran impacto en la sociedad, integrando la línea de los textiles inteligentes y con ello la indumentaria inteligente. Estos textiles tienen la capacidad de detectar

estímulos internos y responder de forma interactiva con el usuario, al integrar conocimientos de disciplinas principalmente de materiales, electrónica e informática (Molina, 2019). Una de las innovaciones más destacadas es la producción de textiles con sensores integrados en su estructura, los cuales se encargan del monitoreo fisiológico, como temperatura, presión y movimiento (Chamba, 2017).

Como explican Yang et al. (2024), el avance tecnológico permite que los sensores foemen parte del propio tejido, dando origen a las fibras inteligentes, capaces de realizar las mismas funciones, incluso sin el uso de baterías, como se muestra en la **Figura *2***. Por su parte, Torreblanca (2022) indica que los textiles inteligentes representan una innovación tecnológica caracterizada por la incorporación de componentes electrónicos y fotónicos en las fibras para recopilar y procesar información de forma automatizada.

Figura 2

Fibras Inteligentes



Nota. Adaptado de Xu et al. (2025).

2.2.2 Aplicación de sensores en textiles

La tecnología wearable, los textiles inteligentes y los sensores textiles avanzan rápidamente y se encuentran en continuo desarrollo. En la actualidad, existen varios productos inteligentes aplicados en sectores como el laboral, el deportivo y el uso cotidiano, que buscan maximizar el desempeño y la calidad de vida de los usuarios (Reyes, 2019). Mientras tanto, Rovira (2020) menciona que los wearables más comunes para medir datos biométricos y mejorar el estado deportivo son relojes y pulseras conectados a móviles, aunque los textiles inteligentes surgen como alternativa cómoda al permitir una colocación más precisa de sensores sobre el cuerpo.

- **Sensores musculares**

Los sensores musculares utilizados para electromiografía de superficie (sEMG) se posicionan como una herramienta clave para medir el estado muscular, pasando del uso de fibras metálicas a materiales modernos como polímeros conductores y elastómeros, incrementando su precisión, adaptabilidad y durabilidad (Medagedara et al., 2024).

La electromiografía (EMG) es un método que mide la actividad eléctrica del músculo que, al incorporarse con textiles inteligentes, permite un seguimiento continuo y en tiempo real, impulsando la autogestión de la salud (Guo et al., 2020). La integración de estos textiles con otras tecnologías podría transformar tanto la atención médica como el monitoreo del rendimiento deportivo.

2.2.3 Textiles inteligentes aplicados al deporte

El deporte está en constante evolución, lo que ha impulsado el creciente uso de herramientas tecnológicas avanzadas. Estas nuevas tecnologías permiten renovar las rutinas de entrenamiento y transformar la toma de decisiones mediante la aplicación de algoritmos de

aprendizaje automático, análisis predictivos y sistemas de visión por computador, favoreciendo estrategias más precisas y efectivas (Caballero y Núñez, 2024).

A causa de las altas exigencias físicas y técnicas, el baloncesto requiere un monitoreo constante del estado físico y biomecánico de los jugadores, con el propósito de optimizar el rendimiento deportivo. En este sentido, Xu et al. (2025) mencionan que la incorporación de componentes electrónicos en textiles deportivos ha mejorado la recolección de datos relacionados con signos vitales y movimientos corporales, gracias a prendas que son a la vez transpirables y adaptables.

La industria textil reconoce los desafíos que existen en la actualidad y resalta la necesidad de seguir creando soluciones inteligentes, multifuncionales y accesibles, tanto para el deporte como para la salud personalizada. Gracias a estos avances, las prendas inteligentes se han ido integrando cada vez más en la vida cotidiana, especialmente en el ámbito deportivo. De acuerdo con Al Mahmud et al. (2020), los e-textiles elaborados con materiales inteligentes tienen la capacidad de detectar, responder y adaptarse a los cambios del entorno, aportando a la mejora del rendimiento y bienestar de los deportistas.

2.2.4 Fatiga muscular en la práctica del baloncesto

La fatiga muscular en los jugadores de baloncesto surge por la combinación de cargas físicas intensas y una recuperación insuficiente.

- **Causas**

Durante los partidos y entrenamientos, los jugadores realizan numerosas acciones como sprints, saltos y cambios de dirección. Estas actividades provocan una disminución importante de glucógeno y alteraciones hidroelectrolíticas, afectando directamente a la producción de fuerza y potencial muscular (Pernigoni et al., 2024). Además, la acumulación continua de cargas sin un

descanso adecuado puede conducir al síndrome de sobreentrenamiento. Por esta razón, resulta fundamental una comunicación adecuada entre entrenadores y jugadores para minimizar el sobreesfuerzo, lesiones y optimizar el rendimiento en la cancha (Mihajlovic et al., 2023).

- **Consecuencias**

La fatiga en el baloncesto tiene consecuencias significativas, como la disminución en la precisión de lanzamientos y pases, debido a la reducción de velocidad angular en el brazo y a una menor altura de nivelación del balón (Li et al., 2025). De igual forma, Lin et al. (2022) mencionan que la fatiga muscular genera pérdida del control motor, disminución del rendimiento y mayor riesgo de lesiones, especialmente durante los aterrizajes.

2.2.5 Integración de microcontroladores en textiles

La integración de microcontroladores en textiles permite procesar datos directamente desde el tejido. Plataformas como ESP32 son ampliamente utilizadas debido a su tamaño, bajo consumo energético y conectividad inalámbrica. Según Lema (2023), el microcontrolador ESP32 destaca por su capacidad de procesamiento eficiente y conectividad inalámbrica avanzada, aumentando su uso en los textiles inteligentes al combinarse con sensores para permitir un monitoreo constante y una transmisión de datos sin interferencias.

2.3 Marco Legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

De acuerdo con la Constitución de la República Del Ecuador (2008) se incluyen artículos que abordan temas vinculados con la tecnología y el deporte:

> "Art. 24, indica: "Las personas tienen derecho a la recreación y al esparcimiento, a la práctica del deporte y al tiempo libre" (pág. 17). "Art. 3, indica la ley, "De la práctica del deporte, educación física y recreación". - La práctica del deporte,

> educación física y recreación debe ser libre y voluntaria y constituye un derecho fundamental y parte de la formación integral de las personas. Serán protegidas por todas las funciones del Estado". "Art. 340 menciona: "El sistema se compone de los ámbitos de la educación, salud, seguridad social, gestión de riesgos, cultura física y deporte, hábitat y vivienda, cultura, comunicación e información, disfrute del tiempo libre, ciencia y tecnología, población, seguridad y transporte" (pág. 167).

El incumplimiento en la entrega de recursos bajo las condiciones establecidas será motivo de destitución tanto para la autoridad como para los funcionarios públicos que no cumplan con su obligación.

2.3.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

El presente trabajo de investigación está relacionado con los lineamientos de investigación de la Universidad Técnica del Norte, fortaleciendo el desarrollo económico de la comunidad (Universidad Técnica del Norte, 2024):

> 1- "Producción industrial y tecnología sostenible.
>
> 2- Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.
>
> 3- Biotecnología, energía y recursos naturales renovables.
>
> 4- Soberanía, seguridad e inocuidad alimentaria sustentable.
>
> 5- Salud y bienestar integral.
>
> 6- Gestión, calidad de la educación, procesos pedagógicos e idiomas.
>
> 7- Desarrollo artístico, diseño y publicidad.
>
> 8- Desarrollo social y del comportamiento humano.
>
> 9- Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socio económico.

10- Desarrollo, aplicación de software y cyber security (seguridad cibernética)" (p. 1).

De estas líneas expuestas, la investigación se orientó en la línea de investigación número nueve, debido a que cuenta con lineamientos de la carrera de Textiles.

2.4 Marco conceptual

En las siguientes secciones se muestran conceptos que son importantes y tratan sobre los textiles inteligentes, haciendo énfasis en los materiales textiles utilizados para generar estructuras que faciliten la incorporación y el funcionamiento de componentes electrónicos. Por consiguiente, se analizan las conexiones electrónicas, el uso de entornos de desarrollo integrados (IDE) y las plataformas utilizadas tanto en la creación del aplicativo como en la administración de la información.

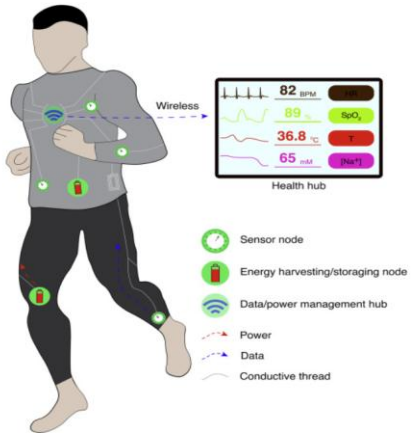
2.4.1 Textiles Inteligentes

Los textiles inteligentes, también conocidos como textiles electrónicos, son materiales innovadores que integran componentes electrónicos con una facilidad de uso, no solo son cómodos y adaptables al cuerpo, sino también ser inteligentes al mismo tiempo, teniendo así una interacción con el usuario (Aarthy y Rufus, 2025). La **Figura 3** muestra un ejemplo de cómo este tipo de tecnología se adapta al usuario, facilitando no solo realizar movimientos, sino también brindar comodidad.

Los materiales textiles de última generación son cada vez más populares y representan una innovación tecnológica que amplía su funcionalidad y versatilidad en áreas como la medicina, la moda, el entretenimiento y el deporte (Júnior et al., 2022).

Figura 3

Traje inteligente



Nota. Adaptado de Du et al. (2022).

2.4.2 Neopreno

Ahadi et al. (2024), mencionan que el neopreno está compuesto gran parte de cloropreno, llegando a un 90%. Es un elastómero resistente a solventes y se obtiene mediante la polimerización del cloropreno; además, es muy utilizado en la industria automotriz para la fabricación de varios productos, como neumáticos, correas y mangueras. En la industria textil, es un material utilizado para elaborar productos de compresión y deportivos, ya que brinda el soporte necesario y es adecuado para la creación de prendas inteligentes y funcionales.

2.4.3 Sensores en textiles inteligentes

Son dispositivos integrados o incorporados en telas o prendas; estos hacen que las telas más comunes se transformen en herramientas dinámicas capaces de captar señales fisiológicas y factores ambientales (Du et al., 2020). Estos sensores no solo mejoran la experiencia diaria del usuario, sino que también permiten un monitoreo, abriendo oportunidades en diferentes campos. Existen diferentes tipos de sensores; entre ellos se pueden encontrar los sensores físicos y sensores químicos o bioquímicos (ver **Figura 4**).

- **Sensores Físicos**

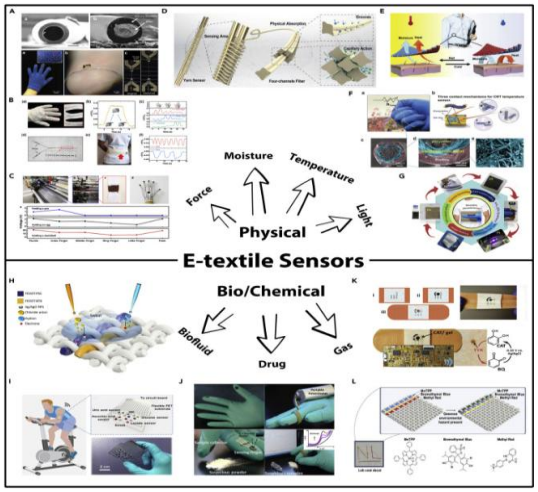
Pueden detectar cambios físicos como la tensión o presión del cuerpo humano, lo que los hace ideales para dispositivos portátiles inteligentes. Para Du et al. (2022), estos sensores miden la deformación al estirarse, lo que cambia su resistencia eléctrica. Por su parte los sensores capacitivos que siguen funcionando incluso después de romperse, permitiendo registrar movimientos o frecuencias respiratorias.

- **Sensores químicos/bioquímicos**

Los sensores químicos, bioquímicos y electroquímicos permiten identificar biomarcadores presentes en el cuerpo humano y la naturaleza, ya que su contacto directo con la piel facilita el acceso a biofluidos como el sudor y diferentes parámetros fisiológicos importantes (Du et al., 2022); más allá del monitoreo, estos sensores pueden utilizarse en los campos forense, militar o ambiental.

Figura 4

Sensores textiles



Nota. Adaptado de Du et al. (2022).

2.4.4 Fatiga muscular

La fatiga muscular es un fenómeno poco comprendido y escasamente diagnosticado; a menudo es tratado de manera general, tanto que su enfoque clínico se vuelve poco o nada activo, más aún cuando se relaciona con la carga de trabajo, que depende de diversos factores, especialmente de la fatiga muscular local, vinculada al esfuerzo físico (Rodríguez, 2020). De igual manera, Wan et al. (2017) mencionan que la fatiga muscular suele ser un síntoma común que se presenta con frecuencia en la práctica clínica debido a la reducción de la capacidad del músculo para generar fuerza tras haber realizado una serie de ejercicios físicos.

La fatiga muscular, más allá de ser una sensación de cansancio, es un indicador que refleja la relación entre el sistema nervioso y el muscular. Su estudio permite comprender los límites del rendimiento físico y evaluar las respuestas fisiológicas derivas del sobreesfuerzo. Asimismo, contribuye no solo a mejorar el desempeño físico, sino también a reducir diferentes riesgos y a favorecer la salud muscular a largo plazo.

2.4.5 Índice del estado del músculo

El índice del estado muscular es una herramienta que ayuda en la cuantificación de la actividad eléctrica neuromuscular mediante el análisis de la señal electromiográfica en la superficie del músculo. Qassim et al. (2022) proponen un índice para la detección objetiva de la fatiga muscular mediante la electromiografía de la superficie, el cual se presenta en la **Tabla 1**. Esta tabla fue adaptada de estudios previos realizados del músculo, en donde se resalta si hubo fatiga, contracción y el reposo del músculo.

Tabla 1

Índice del estado muscular

Estado del músculo	Rango en mV	Rango en µV	Descripción
Reposo absoluto	0 a 0.01 mV	0 a 10 µV	Músculo está totalmente inactivo.
Tono postural	0.01 a 0.1 mV	10 a 100 µV	Actividad mínima para mantener la postura.
Contracción leve a moderada	0.1 a 0.50 mV	100 a 500 µV	Actividad deportiva constante. Los picos observados promedian los 250 µV
Contracción máxima	0.50 a 2.00 mV	500 a 2000 µV	Esfuerzo explosivo. Valor de referencia (CVM).
Fase de fatiga	2.00 a 4.00 mV	1500 a 4000 µV	Aumento de amplitud: El sistema nervioso recluta más fibras para compensar el agotamiento.

Nota. Adaptado de Qassim et al. (2022); Schneider y Hernández (2012).

2.4.6 Componentes electrónicos

Para llevar a cabo el desarrollo del textil inteligente, se implementa el uso de componentes electrónicos como el Arduino y microcontroladores como ESP32.

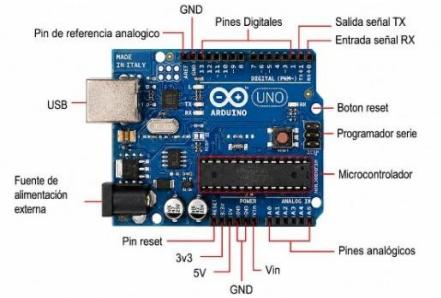
- **Arduino**

Con base en el avance de la tecnología, se han tenido productos importantes para la vida cotidiana; uno de ellos ha sido creado por circuitos electrónicos, debido al requerimiento de conocimientos de algunas ciencias electrónicas que permiten que los circuitos sean programados por medio de una placa de código abierto como es el Arduino que se muestra en la **Figura *5*** (Carrillo, 2021). El Arduino, según Alvarez y Zambrano (2025), es una plataforma hardware libre

utilizada en varios trabajos educativos prácticos y experimentales, permitiendo el desarrollo de proyectos innovadores.

Figura 5

Arduino



Nota. Adaptado de Vidal et al. (2019).

- **ESP32**

El componente electrónico Espressif Systems P32 (ESP32) es un microcontrolador de bajo costo y bajo consumo; este integra Wi-Fi y Bluetooth (ver **Figura 6**). Este ha sido ampliamente adoptado en usos de textiles inteligentes debido a su tamaño compacto, conectividad inalámbrica, soporte para IoT (internet de las cosas) y eficiencia energética (Pratama y Kiswantono, 2023).

Figura 6

Microcontrolador ESP32



Nota. Adaptado de Pratama y Kiswantono (2023).

En la siguiente **Tabla 2,** se detallan las principales características que hacen que este tipo de microcontrolador sea una solución para sistemas modernos e innovadores dentro de la industria textil y electrónica.

Tabla 2

Características ESP32

Características	**Descripción**
Microcontrolador	ESP32
Frecuencia del reloj	240 MHz
Memoria Flash	4 MB
RAM	520 KB
E/S digitales	21
Entradas analógicas	6
Salidas analógicas (PWM)	16
Comunicación	Wi-Fi; Bluetooth
Voltaje de operación	3.3 V
Voltaje de entrada	USB:5 V ; Batería: 3.5-6.5 V
Dimensiones	51 x 23 mm
Socket de batería	Sí (JST – PH 2-pin)
Circuito de carga de batería	Sí

Nota. Adaptado de Lema (2023).

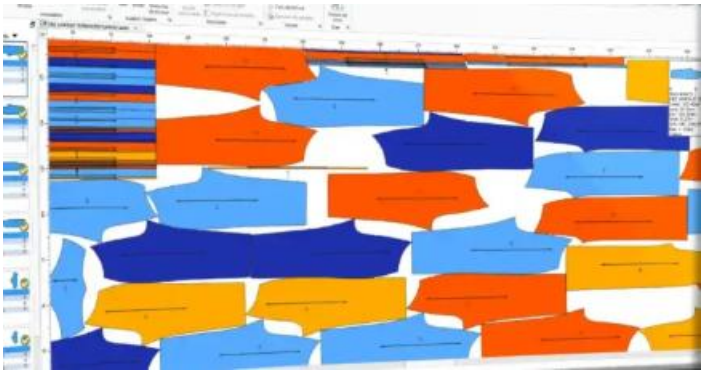
2.4.7 Audaces 360

Audaces 360 es una plataforma que conecta fases creativas y productivas de la moda, con el objetivo de garantizar éxito en la creación de las diferentes colecciones, optimizando los recursos disponibles mediante el uso de la información y tecnología (Audaces, 2018). En este caso, su uso se enfoca en la realización de los moldes del textil inteligente para su confección, como se muestra en la **Figura 7**. El apartado Audaces Patrones, según Audaces (2021a), permitirá la creación de patrones con rapidez y precisión bien definidos, además de la adaptación a varias

tallas. Posteriormente, se utiliza la herramienta Audaces tizada para ubicar las piezas, evitando el desperdicio del material al momento de realizar el corte, lo cual es esencial para asegurar la calidad y precisión de la confección.

Figura 7

Audaces tizada



Nota. Adaptado de Audaces (2021b).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La metodología utilizada establece los procedimientos para la recolección, el análisis y la interpretación de los datos, con el propósito de garantizar asegurando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.1 Enfoque de investigación mixto

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, ya que integra métodos cuantitativos y cualitativos para abordar el problema de estudio de manera integral. Se aplican estos dos tipos de enfoque con el propósito de obtener resultados medibles y respaldados teóricamente. De acuerdo con Salazar (2020), el enfoque cualitativo valora el estudio de la realidad desde una perspectiva subjetiva e intersubjetiva, considerándola una fuente válida de conocimiento científico. Por otro lado, el enfoque cuantitativo destaca por su perspectiva objetiva, secuencial y demostrativa, lo que lo hace ideal para estudiar fenómenos que pueden ser datos numéricos (Jiménez, 2020).

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos con el objetivo de obtener una visión más profunda y completa de la investigación. Desde el enfoque cuantitativo se evaluó la actividad eléctrica muscular y sus variaciones en estado de reposo y el estado posterior al ejercicio. Para ello, se registraron los cambios de la señal EMG, los cuales se procesan mediante valores RMS (Root Mean Square) y la media, indicando el nivel de activación y el esfuerzo muscular. Por su parte, el enfoque cualitativo se desarrolló mediante la aplicación de encuestas que evalúan la funcionalidad, la usabilidad y la integración del sistema en el ámbito deportivo. Las respuestas obtenidas fueron analizadas mediante una escala tipo Likert y estadística descriptiva.

3.2 Tipos de investigación

Conforme a Haro et al. (2024), la definición del tipo de investigación permite comprender los diferentes enfoques y métodos sobre un tema de estudio. A continuación, se detallan los tipos adaptados para la ejecución de este proyecto.

3.2.1 Investigación Aplicada

La investigación aplicada parte de un problema real del entorno y busca resolverlo utilizando conocimientos obtenidos. Este tipo de investigación se enfoca en la materialización y validación de prototipos, modelos o productos, cuyos resultados pueden ser aptos para la protección mediante instrumentos de propiedad intelectual (Castro et al., 2023). Por su parte, Haro et al. (2024) mencionan que este tipo de "investigación va dirigida a resolver problemas específicos o aplicar los conocimientos en situaciones prácticas" (p. 4).

3.2.2 Investigación Experimental

La investigación experimental se basa en la aplicación de ciertas condiciones o tratamientos a un objeto o grupo de personas, con el fin de observar los efectos o respuestas que generan (Alban et al., 2020). A su vez, Ramos (2021) menciona que este tipo de investigación se basa en la manipulación intencional de una o más variables independientes para analizar su efecto sobre las variables dependientes, bajo un control de factores externos. En la **Tabla 3**, se presentan de manera detallada las variables incluidas en el estudio, así como la forma en que cada una de ellas es manipulada, medida y controlada durante su desarrollo. Este diseño experimental asegura que las lecturas del sensor dependan únicamente del esfuerzo físico y los estímulos aplicados, lo que garantiza la validez de las pruebas bajo condiciones reales y especificas del deportista en la cancha.

Tabla 3

Tipos de variables en el estudio

Tipo de Variable	Variable	Protocolo de Medición
Independiente	Estado muscular posterior al ejercico	Se tomó de referencia el rango de la actividad eléctrica muscular de 0 a 4000 uV.
	Tiempo de exposición	Sesiones de prueba de 1 min en reposo y 1 minuto posterior al ejercicio.
Dependiente	Lectura del sensor	Datos cuantitativos registrados
Control	Ubicación del sensor	Posición del sensor en la parte interna de la prenda.
	Tipo de prenda	Muslera.
	Estímulos	Trote, desplazamientos, saltos, sentadillas, sprint y velocidad.

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se adoptan medidas para reducir interferencias externas, como el uso de neopreno por su transpirabilidad, la adecuada fijación de los sensores y técnicas de filtrado de la señal, garantizando los datos obtenidos.

3.2.3 Investigación Documental

La investigación documental se centra en la búsqueda, recopilación y análisis de la información contenida en diversas fuentes. Se apoya en materiales como libros, revistas, artículos científicos y actualmente en documentos en formato electrónico (Odón, 2023). El objetivo principal de este tipo de investigación se basa en 2 aspectos; primero, se vincula la información ya existente que proviene de diferentes fuentes y luego se da una visión general y estructurada sobre un tema, a partir del análisis de diversas fuentes (Reyes y Carmona, 2020).

La investigación documental se aplicó en la revisión y análisis de fuentes científicas, técnicas y académicas relacionadas con la tecnología textil, sensores y rendimiento deportivo. A

través de la revisión y el análisis se identificaron tendencias actuales en el desarrollo de textiles inteligentes; asimismo, el análisis facilitó la construcción de una base sólida para el diseño del textil inteligente.

3.3 Técnica de investigación cualitativa y cuantitativa

Neill y Corte (2018) mencionan que la técnica cuantitativa normalmente se basa en la recolección de datos numéricos mediante instrumentos estructurados, como encuestas, que permiten medir variables y analizar el tamaño de los problemas, mientras que la técnica cualitativa busca rescatan la perspectiva de los participantes, incluyendo la observación directa, entrevistas y discusiones sobre el tema.

Baji este principio, la usabilidad y funcionalidad del textil inteligente se estructuro bajo los criterios de calidad establecidos en la norma ISO 25010. En esta etapa participó una muestra de 10 deportistas encargados de validar la prenda mediante pruebas de campo. Para la recolección de los datos se aplicó encuestas estructuradas de 10 preguntas, organizadas bajo una escala tipo Likert con opciones de respuesta desde “Totalmente de acuerdo” hasta “Totalmente en desacuerdo”. De la misma manera, la técnica cuantitativa se emplea para el análisis de los datos obtenidos por los sensores integrados en el textil, utilizando parámetros como promedios y valores RMS. Los valores obtenidos del músculo se establecieron a partir de mediciones iniciales que servirán como referencia para identificar y analizar el estado muscular posterior al ejercicio.

3.4 Flujograma del proceso investigativo

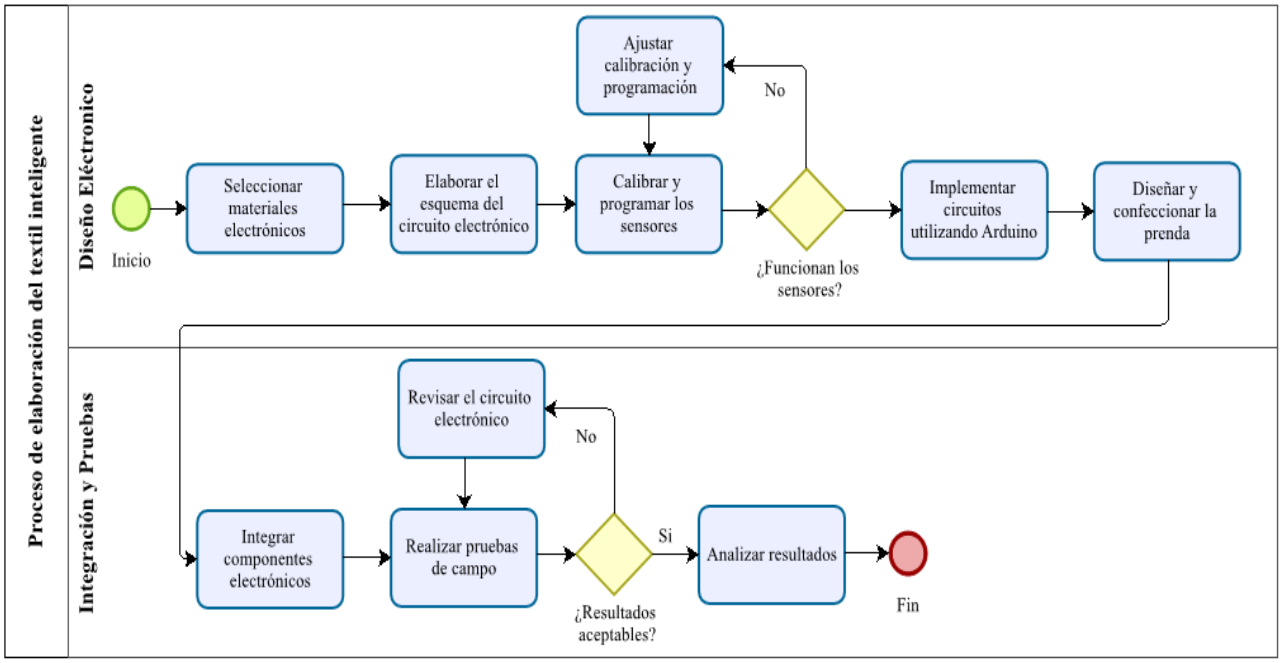
Un diagrama de flujo es una representación gráfica que emplea un conjunto de símbolos y signos para describir un proceso, que explica las etapas y acciones para realizar una tarea (Lucidchart, 2025). Para ello se utilizan dos tipos de flujo: general y muestral.

3.4.1 Flujograma general

La **Figura 8** presenta una descripción general del proceso, iniciando con el diseño del prototipo hasta el análisis de los resultados obtenidos. En ella se muestra de manera general las etapas que conforman realizar este tipo de textil inteligente.

Figura 8

Flujograma general de la elaboración del textil inteligente



Nota. Elaboración propia.

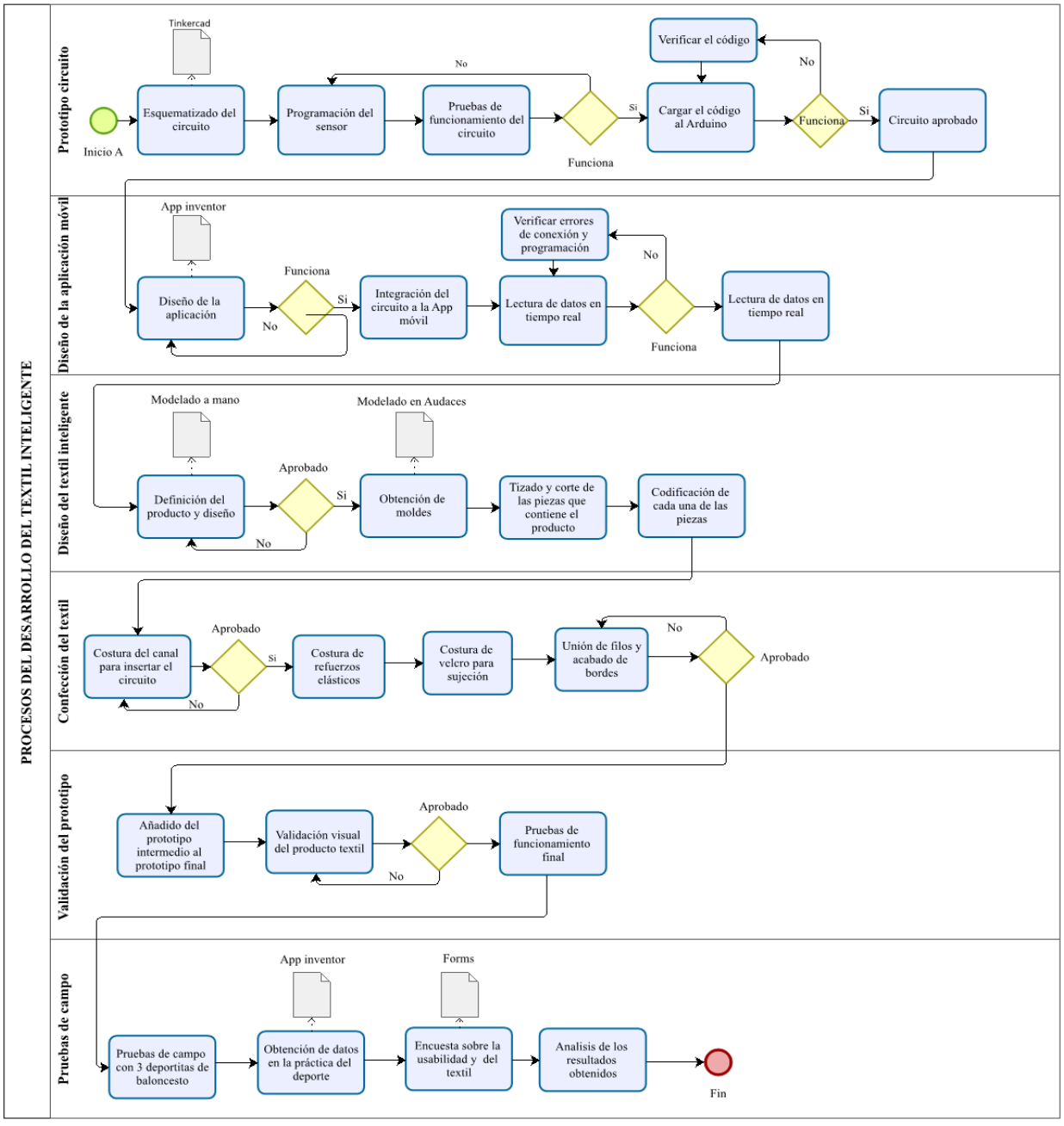
3.4.2 Flujograma muestral

La **Figura 9** muestra con mayor detalle cada etapa del proceso, permitiendo visualizar de manera ordenada cómo se desarrolla el proyecto de inicio a fin. En ella se puede observar tanto el diseño del prototipo como su funcionalidad, además de las fases correspondientes a su aprobación, las cuales incluyen la revisión técnica, la verificación de cumplimiento de los requisitos y la validación final. Este tipo de flujograma permite comprender de forma clara la secuencia de las

actividades, identificar las tareas y verificar que el proceso se cumpla de manera adecuada y eficiente.

Figura 9

Flujograma muestral del desarrollo del textil



Nota. Elaboración propia.

3.5 Materiales y Equipos

En la investigación, se utilizaron materiales y equipos que permitieron una interpretación y conclusión más fácil del proyecto. Tanto los materiales como los equipos desempeñan un papel importante en la elaboración del diseño y el prototipo inteligente para la detección del estado muscular posterior al ejercicio en la práctica del deporte de baloncesto.

3.5.1 Materiales

- **Neopreno**

Conforme a Naebe et al. (2013), el neopreno es un material ampliamente utilizado por su alta resistencia, elasticidad y capacidad térmica, logrando un estiramiento de más de 1,6 veces sin perder sus propiedades elásticas o sufrir deformaciones permanentes. Cuenta con características como el aislamiento térmico y eléctrico, es un material muy versátil a causa de su aplicación, tiene resistencia a líquidos y es hipoalergénico, ya que no suele presentar reacciones alérgicas en la piel (Barrachina, 2022). La **Tabla 4** se detallan las especificaciones técnicas del neopreno, material seleccionado por sus propiedades técnicas, debido a que su estructura proporciona una mayor estabilidad estructural y una firme sujeción. Estas propiedades resultan fundamentales para facilitar la integración de sensores y contribuye a la compatibilidad textil-electrónica. De este modo, se minimizan de forma significativa las interferencias por el movimiento muscular, el exceso de humedad por sudoración y el ruido electrónico ambiental, aspectos que resultan claves para asegurar la precisión en la medición del estado muscular posterior al ejercicio, lo que permite obtener datos limpios y reproducibles. Además, el neopreno destaca por su uso en el ámbito deportivo y en otras aplicaciones debido a su durabilidad y adaptabilidad al cuerpo. Esta capacidad de ajuste no solo brinda confort y libertad de movimiento al deportista, sino que mantiene los componentes electrónicos fijos.

Tabla 4

Especificaciones de la tela neopreno

Neopreno	Especificaciones técnicas
	- Composición interna: Cloropreno - Composición externa: Poliéster - Grosor: 1 mm - Color: Bicolor negro-azul - Dimensiones: 1 m x 1,5 m - Aplicaciones: prendas y accesorios deportivos

Nota. Elaboración propia.

- **Velcro**

El velcro es una cinta adhesiva que se aplica en diferentes tejidos; por lo general, se encuentra en color negro y blanco. Puede presentarse de una cara o de dos caras, como se muestra en la **Figura 10**. En el desarrollo del proyecto se hizo uso del velcro de dos caras, ya que permite unir dos telas; su ancho es de 3 cm. Este tipo de velcro tiene la función de adherirse al juntarse y se separa fácilmente al tirar de ellos.

Figura 10

Velcro de dos caras



Nota. Elaboración propia.

- **Sensor Muscular Arduino EMG AD8832**

El sensor AD8832 es un circuito analógico diseñado para adquirir biopotenciales como electrocardiograma (ECG), electromiograma (EMG) y electroencefalograma (EEG), representa una solución accesible y compacta para proyectos que requieren la captura de este tipo de datos (Junior et al., 2023). La **Tabla 5** muestra de manera visual cómo se presenta el sensor y los componentes necesarios, como lo son los electrodos con almohadilla, el cable Jack de 3.5 con 3 salidas y los jumpers H-M; además, se indican las especificaciones técnicas que componen el sensor.

Tabla 5

Sensor muscular EMG AD8832 y sus especificaciones

Sensor muscular	Especificaciones técnicas
	- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V – 5 V. - Rango de temperatura nominal: 0 - 70℃. - Rango de temperatura de trabajo: -40 ℃ - 85 ℃. - Cuenta con: salida analógica - Jack de 3.5 mm para conexión de almohadilla biomédica. - Tamaño aproximado: 35 mm x 25 mm. - Frecuencia de muestreo: 0,5 Hz – 40 Hz. - Rango de señales EMG: 0 V – 4 V.

Nota. Adaptado de NovatronicEc (2020).

El uso de gel o parches adhesivos es necesario porque actúan como una interfaz que permite transferir las señales eléctricas del músculo hacia el sensor. Se hizo uso del parche

adhesivo, el cual garantiza que el electrodo permanezca fijo durante el desarrollo de las actividades.

- **ESP32 de 30 pines**

El ESP32 es parte de la familia de los microcontroladores y es una placa que integra conectividad Wi-Fi y Bluetooth (ver **Figura 11**). Según AVElectronics (2026), la versión de 30 pines ofrece una amplia variedad de funciones de conectividad para proyectos inalámbricos, es compatible con Arduino y su diseño es compacto y versátil, lo que lo hace ideal para este tipo de proyectos. En la **Tabla 2** se muestran de manera más directa sus características.

Figura 11

Microcontrolador ESP32 de 30 pines



Nota. Elaboración propia.

- **Switch**

En la **Tabla 6** se muestran las características del switch, que es un dispositivo eléctrico; su función se basa en permitir o impedir el paso de la energía eléctrica al momento de pulsarlo, lo que significa que maneja el encendido y apagado del prototipo.

Tabla 6

Características del switch

Switch	Características
	Amperaje: 3 A Voltaje: 250V Posiciones: 2 (ON y OFF) Dimensiones: 10mm x 15mm Modelo: KCD11

Nota. Elaboración propia.

- **Batería de litio**

De acuerdo con Amazon (2025)**,** la batería de litio es un dispositivo de almacenamiento de energía que contiene iones (ver **Figura 12).** Este tipo de batería cuenta con una capacidad de 1200 miliamperios-hora. Se utiliza para alimentar la energía eléctrica en el textil inteligente, además de operar a una potencia de 3,7 V en diferentes campos.

Figura 12

Batería de litio



Nota. Elaboración propia.

3.5.2 Equipos de confección

Para la fabricación del prototipo (muslera) se necesita hacer uso de equipos especializados para garantizar la precisión, eficiencia y calidad en cada una de las etapas del proceso de producción. A continuación, en la **Tabla 7** se describen dichos equipos utilizados, ofreciendo así una visión integral de la estructura tecnológica utilizada en la fabricación del textil inteligente.

Tabla 7

Especificaciones de la máquina de confección

Máquina	Generalidades	Especificaciones
Recta (RTA)	Máquina de una sola aguja, entrelaza el hilo superior con el hilo inferior para crear costuras resistentes.	Marca: Juki Sistema eléctrico: 110v Sistema electrónico motor: 3450 RPM.

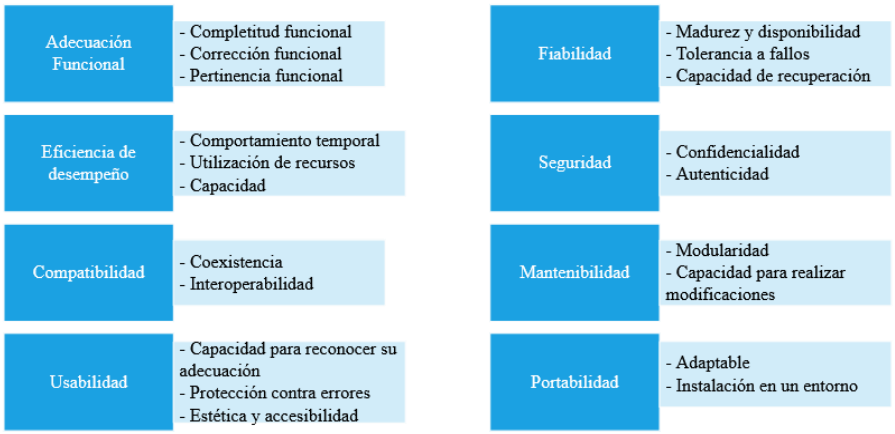
Nota. Adaptado de Juki Inducon (2025).

3.6 Normas de Referencia

Para la evaluación del textil inteligente con sensores de fatiga muscular, se tomará como referencia la norma técnica ISO 25010, enfocándose principalmente en las características de calidad del prototipo, como se muestra en la **Figura 13**. En particular, su modelo define ocho características; para el estudio se consideran dos características claves: la usabilidad y la funcionalidad, las cuales permitirán determinar el nivel de calidad del textil durante el proceso de evaluación (ISO 25000, 2024).

Figura 13

Indicadores de calidad según la norma ISO 25010



Nota. Adaptado de Cortés Rojas (2024).

3.6.1 Adecuación Funcional

Representa la capacidad del producto software para brindar funciones que satisfagan las necesidades del usuario bajo condiciones determinadas, lo que permite alcanzar sus metas con precisión y exactitud. Ortega (2018) menciona que la funcionalidad está dividida en tres subcategorías:

a) **Completitud funcional:** Si el software es capaz de cumplir todas las necesidades del usuario objetivo.
b) **Correlación funcional:** Si es capaz de sacar unos resultados correctos y coherentes con los esperados.
c) **Pertinencia funcional:** Si proporciona un conjunto de funciones para las tareas y objetivos que sean los que el usuario necesita (p. 36).

3.6.2 Usabilidad

Para la norma ISO 25000 (2024), la usabilidad es la capacidad de que el producto software interactúe con el usuario mediante su interfaz, intercambiando información siempre que se use bajo determinadas condiciones. De acuerdo con Sifuentes y Peralta (2022), mencionan que la norma ISO 25010 se subdivide en las siguientes características:

a) **Capacidad para reconocer su adecuación:** capacidad del producto que permite al usuario entender si el software es adecuado para sus necesidades.
b) **Capacidad de aprendizaje:** capacidad del producto que permite al usuario aprender su aplicación.
c) **Capacidad para ser usado:** capacidad del producto que permite al usuario operarlo y controlarlo con facilidad.

d) **Protección contra errores de usuario:** capacidad del sistema para proteger a los usuarios de cometer errores.

e) **Estética de la interfaz de usuario:** capacidad de la interfaz de usuario de agradar y satisfacer la interacción con el usuario.

f) **Accesibilidad:** capacidad del producto que permite que sea utilizado por usuarios con determinadas características y discapacidades (p. 5).

3.7 Procedimiento

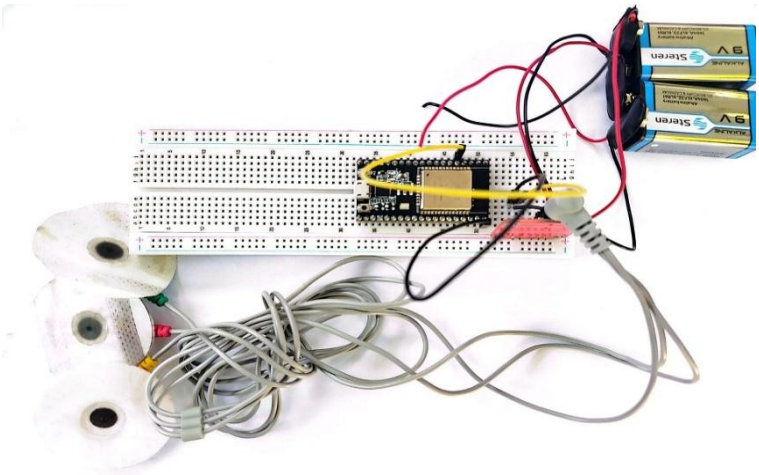
El proyecto consiste en el desarrollo de un textil inteligente deportivo. Al existir diversas prendas deportivas, se ha decidido elaborar una muslera deportiva que proporcione un soporte al músculo con el propósito de estabilizarlo. Para el desarrollo, se consideró el uso de plataformas de hardware y software, así como la elección del tejido para su elaboración. A continuación, se detallan las etapas de elaboración.

3.7.1 Esquema y diseño del circuito

En esta etapa se comienza validando el circuito electrónico y la programación del sensor en la aplicación Arduino IDE junto con el módulo ESP32; una vez obtenida la función y las mediciones necesarias, se traslada el programa completo a la placa ESP32 ya que cuenta con una alta resolución para la captura de señales. En la siguiente **Figura 14**, se puede observar el esquema básico implementado, donde se pueden apreciar los diferentes componentes y los cables necesarios que se utilizaron para poner en funcionamiento el sensor muscular EMG AD8832. Adicional a ello, se hizo uso de baterías de 9 V debido a que se deben utilizar tanto energías positivas como negativas y la unión de ambas, que es un GND.

Figura 14

Esquema del circuito del sensor



Nota. Elaboración propia.

Como parte del funcionamiento de los datos en el desarrollo del deporte, se incorporó un código para el muestreo de la intensidad de la actividad muscular, el cual realiza lecturas individuales por deportista. El sistema registra 20 muestras por segundo, debido a que el sensor muscular EMG AD8832 lee el voltaje y el microcontrolador lo convierte a un número digital.

Figura 15

Código de muestreo de la señal del músculo

```
const int pinEMG = 34;
int valorEMG = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(pinEMG, INPUT);
  delay(1500);
  Serial.println("inicio");
}

void loop() {
  valorEMG = analogRead(pinEMG);
  Serial.println(valorEMG);
  delay(50);
}
```

Nota. Elaboración propia.

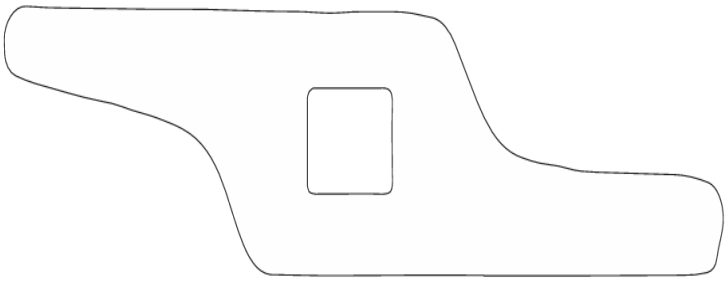
3.7.2 Diseño, patronaje y confección

Esta fase se centra en la creación física de la prenda, garantizando comodidad, funcionalidad y la ubicación estratégica de los sensores y componentes electrónicos correspondientes.

- **Diseño de la prenda y selección del material:** se define el tipo de prenda y el diseño considerando la zona muscular a monitorear, además del espacio de alojamiento de los componentes internos, como se muestra en la **Figura 16**. También, se eligen los materiales adecuados que puedan cumplir con la función de acoger los sensores, proporcionando flexibilidad y resistencia que requiere el diseño.

Figura 16

Diseño de muslera deportiva



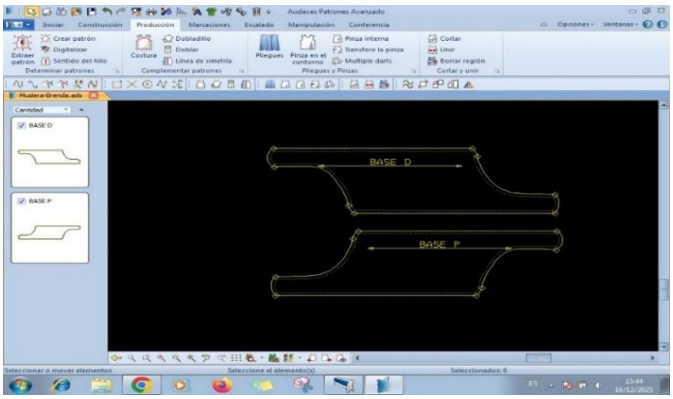
Nota. Elaboración propia.

- **Patronaje y tizada:** Se crea el patrón de la prenda en la plataforma Audaces Patrón, junto con las costuras respectivas (1 cm) con una dimensión de medidas estándar basada en una toma de medidas, tal y como se muestra en la **Figura 17.** El patrón fue elaborado de dos capas: interior y exterior, para que la integración tecnológica y sus componentes sean más eficientes y estén ubicados adecuadamente**.** Posteriormente, se realiza el tizaje del patrón dentro de la plataforma Audaces Tizada, teniendo en cuenta las cantidades y

especificaciones de la tela, como sus medidas de ancho por largo; luego se procede con la impresión.

Figura 17

Patrón de la prenda



Nota. Elaboración propia.

- **Impresión digital y corte de piezas:** Una vez obtenida la tizada, se pasa a la aplicación de Audaces Ultraspool para su impresión en el plotter. Posteriormente, se realiza el corte de piezas (ver **Figura 18**); el corte se realiza ya en la tela, ya que cada una de las piezas está ubicada para ganar rendimiento de la tela. Después del corte, se realiza la confección de las piezas.

Figura 18

Corte piezas directamente en la tela



Nota. Elaboración propia.

- **Confección:** Se ensambla la prenda empezando con las piezas base y teniendo en cuenta las vías de conexión de los componentes electrónicos. En la **Tabla *8*** se detalla el proceso general de la confección del textil inteligente junto con las especificaciones de puntada y las máquinas que se van a utilizar.

Tabla 8

Proceso de ensamblado del textil inteligente

Ítem	Operación	Elemento	Máquina	Puntada
1	Colocar el cierre a lo largo de la abertura de la parte exterior.	Neopreno y cierre	RTA	ISO 301
2	Realizar la costura del velcro en los filos y la prenda, para poder tener su sujeción.	Velcro	RTA	ISO 301
3	Realizar la costura de ambas piezas, juntando el revés con revés.	Neopreno	RTA	ISO 301
4	Colocar el sesgo alrededor de toda la pieza y en la parte del cierre para brindar una mejor presentación del prototipo.	Neopreno y sesgo	RTA	ISO 301

Nota. Elaboración propia.

3.7.3 Integración de componentes electrónicos

Una vez obtenida la prenda y verificado el funcionamiento adecuado del sensor, se procede a integrar los diferentes componentes electrónicos necesarios en la prenda, previamente elaborada con un compartimiento de alojamiento. Es muy importante que estos componentes sean colocados cuidadosamente para evitar que alguno de ellos se desactive. En la **Figura 19** se puede observar cómo se integraron los componentes en la prenda. Para captar la información, se colocaron los electrodos en la prenda de la siguiente manera:

- Color rojo: centro del músculo.
- Color amarillo: 2 cm más arriba del centro del músculo.
- Color verde: cerca de la parte ósea.

Figura 19

Integración de componentes



Nota. Elaboración propia.

3.7.4 Creación de la app móvil

Para la visualización en tiempo real y la gestión de la información capturada por el sensor, se desarrolló de una aplicación móvil en Android Studio que permite la comunicación inalámbrica mediante el protocolo Bluetooth, garantizando una transferencia de datos entre el microcontrolador de la prenda y el dispositivo móvil. La estructura de la aplicación fue diseñada de la siguiente manera, al igual que se puede observar en la **Figura 20**:

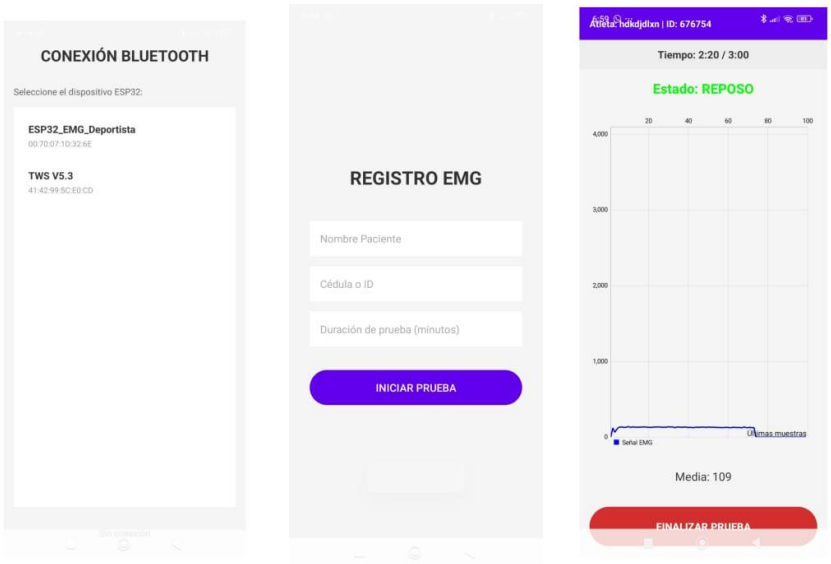
- **Obtención de datos demográficos:** se estableció la obtención de estos datos para garantizar el registro de la información durante las pruebas de campo; la aplicación emplea un protocolo de seguridad que impide el seguimiento sin los datos requeridos. Por medio

de estos datos se realizará la creación del archivo final de cada usuario, lo que garantiza que en cada sesión de monitoreo se produzca un archivo por deportista.

- **Obtención de datos del músculo:** la captura de datos se obtiene mediante un sistema de monitoreo de la actividad muscular en tiempo real. El dispositivo registra las señales eléctricas del músculo en intervalos de milisegundos, permitiendo su procesamiento y visualización inmediata en la aplicación.
- **Presentación de gráficas de las mediciones:** el sistema genera una gráfica del estado muscular, además de que muestra el valor medio de todos los datos registrados y el estado del músculo.

Figura 20

Estructura visual de la aplicación



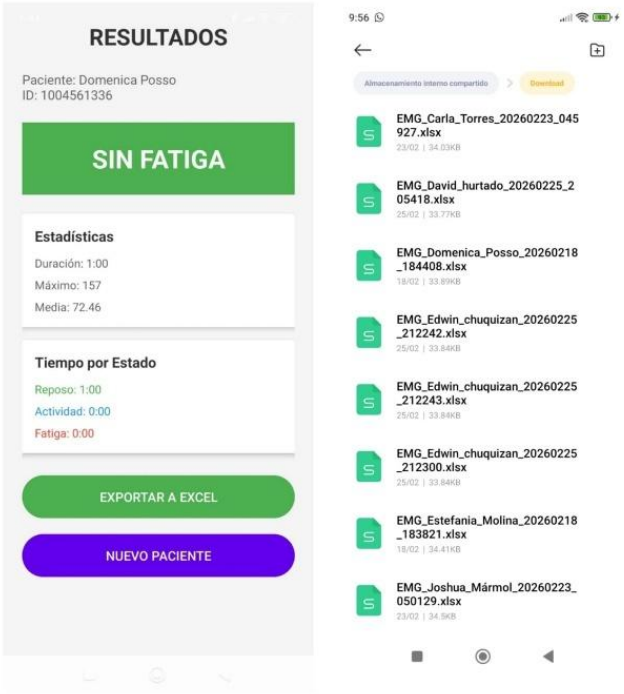
Nota. Elaboración propia.

Una vez finalizada la sesión de toma de datos, la aplicación genera una pantalla donde se muestran los resultados, tales como son valores estadísticos de todos los datos obtenidos, el estado del músculo y los apartados para exportar el archivo Excel y para realizar otra sesión. Estos

archivos de Excel se guardan en una carpeta en el teléfono, como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 21

Datos finales y almacenamiento de archivos generados



Nota. Elaboración propia.

3.7.5 Evaluación de la prenda

Una vez completado el ensamblaje, el montaje del sistema y verificada la funcionalidad electrónica, se entra en la etapa de validación real. Esta validación se divide en dos fases: la validación técnica a través de pruebas de campo y la validación del usuario mediante encuestas realizadas (ver **Anexo *4***). Esta evaluación se realiza para dar validez a los datos obtenidos por el sensor muscular EMG AD8832; para ello se implementó una muestra de 10 deportistas con las siguientes variables.

Tabla 9

Variables de control en las pruebas de campo

Variable de control	Parámetros definidos
Horario	Las pruebas se realizaron en un horario de 18:00 a 20:00
Ubicación del sensor	Músculo cuádriceps femoral.
Duración	Sesión de 1 minuto antes de realizar ejercicio y sesión de 1 minuto posterior al ejercicio.
Manejo de atípicos	Se muestran 20 datos por segundo, los cuales son procesados en valores RMS.
Muestra	Se evaluó a 5 deportistas mujeres y 5 deportistas hombres.

Nota. Elaboración propia.

Para su respectiva validación mediante la percepción del usuario, se desarrolló una encuesta estructurada en los indicadores respecto a la norma ISO/IEC 25010, basándose principalmente en la funcionalidad y usabilidad. Esta herramienta está conformada por diez ítems, los cuales se valoran en una escala de Likert de cinco niveles, diseñada para medir actitudes y percepciones subjetivas. La codificación de la escala se define de la siguiente manera:

1. Totalmente de acuerdo (evaluación positiva)
2. De acuerdo
3. Neutral
4. En desacuerdo
5. Totalmente en desacuerdo (evaluación negativa)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados

En este apartado se exponen los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el textil inteligente; se evalúa el procesamiento de los datos, el funcionamiento y la usabilidad del textil inteligente, basándose en los criterios de la norma ISO 25010 y enfocándose en la detección de la actividad muscular de los deportistas y la eficiencia de la transmisión de datos.

4.2 Monitoreo del músculo

Para cumplir con la primera fase de la evaluación técnica planteada en el objetivo 4, se realizó la recopilación y organización de los datos obtenidos por el textil inteligente. Se seleccionó una población de 10 jóvenes deportistas, la cual se dividió en dos grupos: uno de 5 mujeres y otro de 5 hombres, para una mejor obtención de resultados. El monitoreo de la actividad muscular se realizó mediante una muslera deportiva que integra el sensor muscular EMG AD8832 junto con los electrodos que conectan al cuerpo y al sistema de medición, permitiendo la captura de las señales eléctricas del músculo.

En la siguiente **Tabla 10**, se presentan los resultados de los datos obtenidos de todos los deportistas de baloncesto. Debido al volumen de datos generados por el sensor, se aplicó el cálculo RMS (valor cuadrático medio), como parámetro de síntesis de la señal electromiográfica.

$$\mathrm{RMS} = \sqrt[2]{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_1^2}$$

Tabla 10

Resultados RMS y estado del músculo

N°	RMS reposo (µV)	Estado	RMS posterior al ejercicio (µV)	Estado
T01	68,9365	Tono Postural	672,6864	Contracción máxima
T02	79,8944	Tono Postural	673,5219	Contracción máxima
T03	65,966	Tono Postural	799,4447	Contracción máxima
T04	70,2018	Tono Postural	685,7705	Contracción máxima
T05	66,9461	Tono Postural	506,6959	Contracción máxima
T06	93,3542	Tono Postural	246,9568	Contracción leve
T07	95,4399	Tono Postural	213,5451	Contracción leve
T08	96,9407	Tono Postural	206,5056	Contracción leve
T09	87,6652	Tono Postural	162,9797	Contracción leve
T10	78,9743	Tono Postural	346,7758	Contracción leve

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas a los deportistas, los cuales se han repartido en dos momentos (músculo en reposo y músculo posterior al ejercicio), así como la diferencia entre dichos valores, con el propósito de conocer cómo cambia el músculo. Las pruebas realizadas se llevaron a cabo antes y después de 10 minutos de ejercicio, y la toma de datos se realizó durante 1 minuto.

Tabla 11

Resultados de las pruebas de campo

Variable	N°	RMS en reposo (µV)	RMS posterior al ejercicio (µV)	Diferencia RMS (µV)	Promedio RMS (µV)
Señal eléctrica del musculo	T01	68,9365	672,6864	603,7499	370,8115
	T02	79,8944	673,5219	593,6275	376,7082
	T03	65,966	799,4447	733,4787	432,7054
	T04	70,2018	685,7705	615,5687	377,9862
	T05	66,9461	506,6959	439,7498	286,821
	T06	93,3542	246,9568	153,6026	170,1555
	T07	95,4399	213,5451	118,1052	154,4925
	T08	96,9407	206,5056	109,5649	151,7232
	T09	87,6652	162,9797	75,3145	125,3225
	T10	78,8743	346,7758	267,9015	212,8251

Nota. Elaboración propia.

En la **Tabla 11**, se muestran los valores de la señal eléctrica del músculo para una muestra de 10 deportistas. Tras realizar ejercicio, las fibras musculares sufren un agotamiento, por lo cual se observa que el voltaje del músculo aumenta considerablemente al pasar de estado de reposo a estado posterior al ejercicio; se pueden ver cambios en donde se incrementa 10 veces más su valor. En cuanto a la columna de diferencia, esta refleja el esfuerzo muscular realizado, lo que lo sitúa en un nivel de riesgo significativo. Por su parte, el promedio global se desplaza hacia los valores más altos, lo que valida que el sensor es capaz de detectar el reclutamiento de unidades motoras adicionales conforme el músculo se va agotando durante las prácticas del deporte.

4.2.1 Estadística descriptiva de los datos

Para analizar las señales del músculo a lo largo de la práctica del deporte, se llevó a cabo el cálculo de las medidas de tendencia central (media) y de dispersión (desviación estándar y varianza), para cada uno de los datos RMS evaluados por deportista. En la **Tabla *12***, se muestra la síntesis de los datos, la cual reporta la media en estado de reposo de 80,42 RMS, mientras que en el estado posterior al ejercicio alcanzó los 451,49 RMS, evidenciando un incremento considerable de la actividad muscular después del ejercicio. De igual manera, la desviación estándar registrada en el estado posterior al ejercicio fue superior a la observada en reposo, lo que demuestra una mayor variabilidad en la respuesta muscular de los deportistas.

Tabla 12

Estadística descriptiva de los datos del sensor

Estadística	**Reposo RMS (µV)**	**Posterior al ejercicio RMS (µV)**
Media aritmética	80,42	451,49
Mediana	79,38	426,74
Desviación estándar	12,24	242,65
Mínimo	65,97	162,98
Máximo	96,94	799,44

Nota. Elaboración propia.

4.2.2 Normalidad de datos

Para garantizar la fiabilidad de las pruebas, se llevó a cabo una verificación de los datos con el objetivo de validar la normalidad de los mismos, los cuales fueron recopilados a partir del sensor muscular EMG AD8832. Considerando que la muestra abarcó 10 datos (1 por cada

jugador). Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, mediante el software Past 4, la cual presenta una mayor potencia estadística en el análisis de muestras pequeñas (n<50), considerando la normalidad si el valor p es mayor a 0,05 (Sánchez et al., 2024).

Figura 22

Prueba de normalidad de la variable diferencia (posterior al ejercicio – reposo)

	All
N	10
Shapiro-Wilk W	0,8709
p(normal)	0,1025

Nota. Elaboración propia.

Como se evidencia en la **Figura 22,** la prueba de Shapiro-Wilk aplicada a la variable diferencia entre las mediciones de reposo y condición posterior al ejercicio presentó un valor de significancia de p = 0,1025. Debido a que el valor es mayor al p establecido, se concluye que las diferencias entre ambas mediciones siguen una distribución normal.

4.2.3 Pruebas t de Student

Con el propósito de validar la efectividad de la prenda inteligente en la detección de cambios, se implementó una prueba t de Student para muestras relacionadas. Este tipo de prueba es ideal cuando se quiere comparar los promedios entre dos grupos o de un mismo grupo en dos momentos diferentes (Mishra et al., 2019), tales como el antes y el después de ser sometidos a un factor de evaluación.

En este contexto, el factor evaluado fue el esfuerzo físico generado tras 10 minutos de ejercicio continuo. Al aplicar esta prueba sobre los valores RMS obtenidos del músculo, se busca establecer si el incremento de las bioseñales es resultado real del esfuerzo o si corresponde a variaciones aleatorias. En la **Tabla 13** se pueden ver los resultados de la prueba t de Student

realizada; esta primera prueba se hizo utilizando todos los valores obtenidos, tanto masculinos como femeninos, lo que permitió obtener datos mucho más generales.

Tabla 13

Prueba t de Student para muestras emparejadas

	Variable 1	**Variable 2**
Media	80,42191	451,48824
Varianza	149,747696	58878,4164
Observaciones	10	10
Coeficiente de correlación de Pearson	-0,86136458	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	-4,63313743	
P (T<t) una cola	0,00061559	
Valor crítico de t (una cola)	1,83311293	
P (T<=t) dos colas	0,00123118	
Valor crítico de t (dos colas)	2,26215716	

Nota. Elaboración propia.

Se aplicó la prueba estadística t de Student para muestras emparejadas con el fin de determinar los niveles de activación muscular entre el reposo y el estado posterior al ejercicio. Los resultados evidenciaron una diferencia entre la media de reposo (80,42191 RMS) y la condición posterior al ejercicio (451,48824 RMS).

Asimismo, se obtuvo el valor estadístico t de -4,633 con 9 grados de libertad y un valor de significancia bilateral de 0,00123, inferior al valor de p establecido (p=0,05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye con un nivel de confianza del 95%, quiere decir que el sistema inteligente de la prenda detecta de manera efectiva el incremento de la actividad eléctrica del músculo.

4.2.4 Tamaño del efecto e intervalos de confianza

Para complementar el análisis realizado mediante la prueba t de Student, se incorporan medidas que permiten una interpretación más completa de los resultados, ya que el valor p no brinda información sobre la magnitud ni la precisión de las diferencias. Por esta razón, se procede al cálculo del tamaño del efecto e intervalo de confianza, según (Goulet y Cousineau, 2018) el tamaño del efecto (d de Cohen) mide de manera estandarizada qué tan diferentes son las medias de dos poblaciones; en cambio el intervalo de confianza muestra qué tan confiable es el método de trabajo y establece el rango en el cual se encuentra la diferencia. Para obtener el valor del tamaño del efecto utilizamos el siguiente modelo matemático y se implementa los resultados ya obtenidos en el estudio, como t (-4,633) y n (10):

$$d = \frac{t}{\sqrt{n}}$$

Se obtuvo un tamaño del efecto d = -1,46, de acuerdo con los criterios estadísticos establecidos este valor representa un efecto grande, lo que indica que la diferencia entre ambas condiciones (reposo y posterior al ejercicio) presenta una magnitud considerable. Igualmente, se obtuvo una diferencia media de 371,0663 RMS con un intervalo de confianza del 95% comprendido entre 189,89 y 552,24 RMS; dicho intervalo no contiene el valor cero, lo que se confirma una diferencia estadística entre ambas condiciones. Los valores se obtuvieron mediante el siguiente modelo matemático:

$$IC_{95\%} = d \pm t_{0,0025,9}\left(\frac{S_d}{\sqrt{n}}\right)$$

Donde:

d = media de las diferencias

S_d = desviación estándar

n = 10

$t_{0.025,9}$ = 2,262 (para 9 grados de libertad)

Para un análisis más profundo, se realizaron las pruebas estadísticas t de Student para ambos géneros; esto demuestra de manera más concreta los resultados obtenidos anteriormente y permite una comparación mucho más rigurosa de los datos obtenidos.

Tabla 14

Pruebas t de Student por género

	Femenino		**Masculino**	
	Variable 1	**Variable 2**	**Variable 1**	**Variable 2**
Media	70,38896	667,62388	90,45486	235,3526
Varianza	30,9784797	10916,0647	54,3036224	4773,83502
Observaciones	5	5	5	5
Coeficiente de correlación de Pearson	0,00701962		-0,66316592	
Diferencia hipotética de las medias	0		0	
Grados de libertad	4		4	
Estadístico t	-12,7686147		-4,36746398	
P (T<t) una cola	0,00010839		0,00599592	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184679		2,13184679	
P (T<=t) dos colas	0,00021678		0,01199185	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511		2,77644511	

Nota. Elaboración propia.

Para evaluar el comportamiento de la señal EMG por género, se realizó la prueba t de Student para muestras emparejadas en ambos grupos, comparando las condiciones de reposo y

condición posterior al ejercicio. Los resultados obtenidos mostraron estadísticas diferentes entre ambas condiciones tanto en el grupo femenino como en el masculino, lo que indica cambios en la activación muscular en los dos grupos analizados.

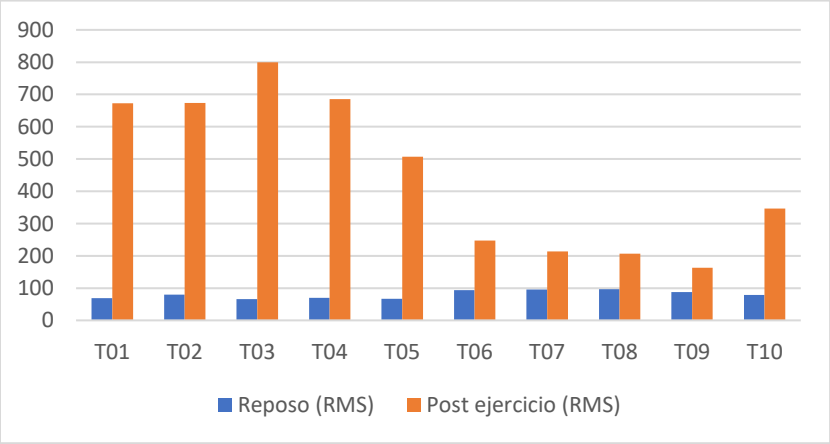
En el grupo femenino, la media de activación en condición posterior al ejercicio alcanzó los 667,62388 RMS con un valor de significancia bilateral de 0,00021. Por su parte, en el grupo masculino la media de activación en condición posterior al ejercicio fue de 235,3526 RMS con un valor de 0,01199. Es importante señalar que, debido al tamaño muestral reducido, los resultados deben interpretarse con precaución. En este sentido, se puede afirmar que, en esta muestra, el grupo femenino presentó valores RMS más altos en comparación con el grupo masculino.

4.2.5 Interpretación de resultados

En esta sección, se interpreta los resultados obtenidos de cada individuo; estos datos contemplan tanto el reposo como la condición posterior al ejercicio detectada.

Figura 23

Valor RMS en reposo y posterior al ejercicio



Nota. Elaboración propia.

La **Figura 23** muestra las variaciones de la señal eléctrica del músculo de los deportistas en los diferentes tiempos: reposo y condición posterior al ejercicio. El esfuerzo físico sostenido durante 10 minutos provocó una elevación evidente en la amplitud de la señal eléctrica muscular, reflejando cómo cambia la respuesta del músculo a medida que avanza el ejercicio.

En el grupo (T01-T05), se aprecian valores RMS más elevadas posterior al ejercicio, alcanzando valores entre 500 y 800 RMS que responden a un mayor reclutamiento de fibras motoras. De igual forma, el grupo comprendido entre T06 y T10 presenta una respuesta más moderada y uniforme, con valores que oscilan entre 160 y 350 RMS, lo que refleja una activación muscular de menor intensidad.

De igual manera, se aprecian los valores RMS en estado de reposo, los cuales que permanecieron relativamente estables, oscilando entre 65,966 y 96,94 RMS. Las variaciones registradas demuestran la capacidad del sistema para monitorear y registrar cambios en la señal electromiográfica tanto en estado de reposo como en condición posterior al ejercicio. De este modo, se confirma la funcionalidad del textil y lo constituyen como una herramienta útil para el seguimiento del rendimiento y el monitoreo de la actividad muscular.

4.3 Evaluación de la prenda

La validación del sistema en condiciones reales de uso, se llevó a cabo un protocolo de pruebas con un grupo 10 deportistas. Tras finalizar las sesiones físicas, se aplicó una encuesta estructurada basada en los criterios de calidad establecidos en la norma internacional ISO/IEC 25010. El análisis se centró en dos características principales: la adecuación funcional, orientada a determinar si el hardware y el software cumplen las funciones previstas, y la usabilidad, valorando aspectos de comodidad, ergonomía y facilidad de manejo. La valoración se llevó a cabo utilizando una escala de Likert de cinco puntos para medir la percepción del usuario final.

4.3.1 Evaluación de la funcionalidad

En la **Tabla *15***, se muestran los resultados recopilados basados en las características de la funcionalidad establecida en la norma ISO 25010 y sus indicadores de acuerdo con dicha característica; para esto se realizó una consulta a los deportistas acerca de la estabilidad, la eficacia y la claridad de la información.

Tabla 15

Datos de validación de la adecuación funcional

Código	Indicador	Pregunta evaluada	Promedio	% de aceptación
P1	Coherencia	¿El sistema establece de manera estable mi nivel de activación muscular en reposo antes de iniciar el ejercicio?	4,40	88%
P2	Conectividad	¿Los sensores detectan con precisión el aumento de la fatiga muscular inmediatamente después de la actividad física?	4,20	84%
P3	Utilidad	¿El algoritmo de fatiga refleja fielmente mi agotamiento físico real (lo que yo siento vs. lo que dice el sensor)?	3,80	76%
P4	Visualización	¿El sistema mantiene la calidad de la lectura a pesar de la presencia de sudor tras el ejercicio?	3,90	78%
P5	Conciencia	¿Considero que el textil inteligente cumple con su función de apoyo al control del rendimiento deportivo?	4,20	84%

Nota. Elaboración propia.

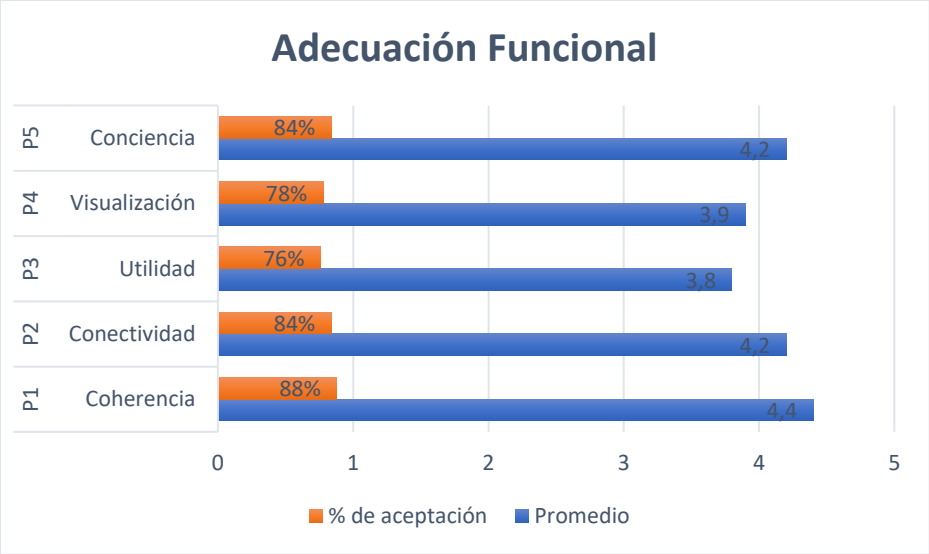
4.3.2 Interpretación de resultados de la funcionalidad

La **Figura *24*** presenta los resultados obtenidos correspondientes a la funcionalidad de la prenda. Este análisis reúne la percepción de los usuarios sobre los cinco indicadores presentados en la **Tabla *15***. La serie de barras representa el promedio obtenido en cada pregunta evaluada, mientras que las etiquetas muestran el porcentaje de aceptación final por parte de los deportistas

en relación con los objetivos planteados para el monitoreo y detección del estado muscular posterior al ejercicio.

Figura 24

Gráfica de la funcionalidad



Nota. Elaboración propia.

Los deportistas validaron positivamente la adecuación funcional del textil inteligente. Esto refleja que el indicador de estabilidad inicial (P1) obtuvo una media de 4,40 y un nivel de aceptación del 88%, porcentaje que demuestra como la mayoría de los deportistas consideró que el sistema es capaz de establecer correctamente el tono muscular basal en estado de reposo, garantizando así un punto de partida para las mediciones posteriores.

De manera similar, los indicadores a evaluar la precisión en la detección (P2) y el apoyo al rendimiento (P5) mantuvieron una tendencia favorable, registrando una media de 4,20 y un nivel de aceptación del 84%. Estos resultados evidencian que la integración del sensor muscular EMG AD8832 en el textil inteligente constituye una alternativa viable, ya que la captura de datos electromiográficos resulta útil para el entrenamiento deportivo.

Sin embargo, el indicador de fidelidad del algoritmo (P3) obtuvo una valoración de 3,80 con un porcentaje de 76%. Este resultado se relaciona con la alta variación encontrada en la condición de posterior al ejercicio. Además, el indicador de resistencia al sudor (P4) alcanzó un 78% de aceptación, lo que indica que el sudor presente durante el ejercicio puede alterar el contacto entre el electrodo y la piel, influyendo en la percepción de la calidad de la lectura.

4.3.3 Evaluación de la usabilidad

Para validar la interacción técnica y la funcionalidad entre el deportista y el textil inteligente, se aplicó un modelo de calidad establecido en la norma ISO/IEC 25010, centrándose en la característica de la usabilidad. En la **Tabla *16*** se detallan los resultados obtenidos de acuerdo con el criterio evaluado.

Tabla 16

Datos de validación basados en la usabilidad

Código	Indicador	Pregunta evaluada	Promedio	% de aceptación
U1	Operatividad	¿El confort físico del textil inteligente (suavidad, temperatura, transpirabilidad, flexibilidad) son satisfactorios?	4,20	84%
U2	Aprendizaje	¿La colocación del textil y de los sensores es sencilla y no requiere asistencia adicional?	3,80	76%
U3	Adaptabilidad	¿La prenda resulta cómoda de llevar puesta incluso cuando los músculos están inflamados o congestionados post-ejercicio?	4,10	82%
U4	Interfaz de usuario	¿La apariencia y el diseño del textil se ve profesional y adecuados?	4	80%
U5	Interfaz de usuario	¿El confort ergonómico (ajuste, libertad de movimiento, posición y soporte) es satisfactorio?	4	80%

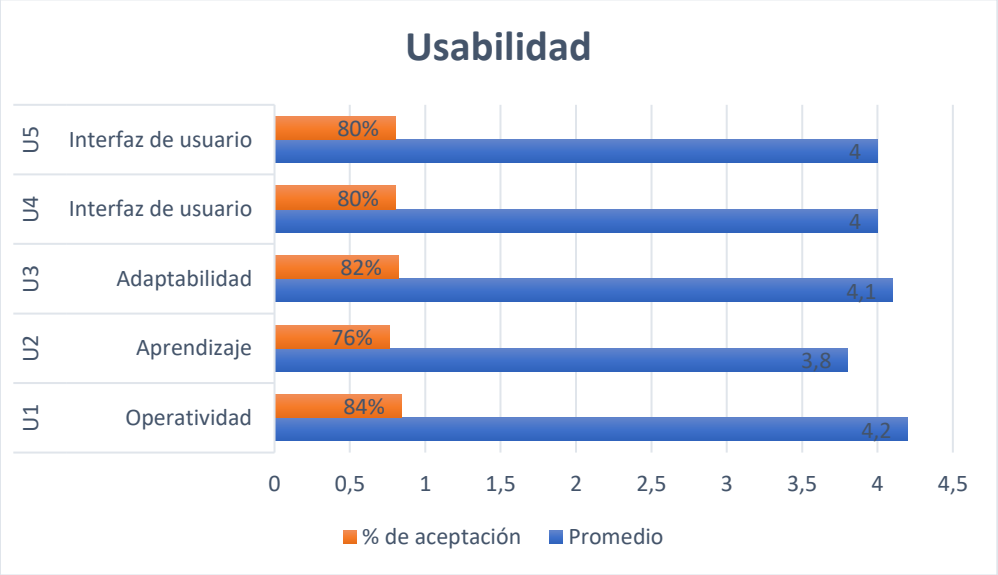
Nota. Elaboración propia.

4.3.4 Interpretación de resultados de la usabilidad

En esta sección se analiza el uso de la prenda con base en los criterios de usabilidad, considerando la percepción de los deportistas durante su interacción con la prenda y la aplicación móvil. La **Figura 25** muestra los resultados, los cuales permiten determinar el grado de aceptación; además, se toma en cuenta aspectos como el confort, la utilización y el aprendizaje requerido para su uso.

Figura 25

Gráfica de resultados de usabilidad



Nota. Elaboración propia.

Los resultados de la evaluación de usabilidad del textil inteligente aplicada a los deportistas se desglosan en promedios de satisfacción y porcentaje de aceptación. La evaluación de la usabilidad, el indicador de viabilidad operativa (U1) obtuvo una valoración de 4,2 puntos con un 84% de aceptación, lo que refleja que el textil inteligente ofrece confort sin afectar al deportista. La adaptabilidad del textil (U3) tuvo una aceptación del 82%, demuestrando que la prenda mantiene su comodiad tras el esfuerzo físico realizado.

Las interfaces de usuario (U4 y U5), obtuvieron una media de 4, equivalente a un 80% de aceptación, confirmando que los participantes validaron positivamente su diseño y el soporte ergonómico. Por otro lado, el indicador de aprendizaje (U2) registró una media de 3,8 y un nivel de aceptación del 76%, resultado que suguiere la incorporación de guías o una breve capacitación inicial que facilite la colocación de la prenda y el uso correcto del textil inteligente.

En términos generales, todos los indicadores alcanzaron niveles de aceptación superiores al 75%. En resumen, el textil inteligente ofrece una experiencia de uso favorable, destacando por su comodidad, adaptabilidad y facilidad de interacción, características que respaldan el uso del dispositivo como herramienta de apoyo para el monitoreo de la actividad muscular en la práctica deportiva.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La revisión bibliográfica permitió identificaron materiales y tecnologías textiles adecuados para el desarrollo de una prenda inteligente orientada al monitoreo de la actividad muscular. Con base en los resultados obtenidos, se confirma que los materiales innovadores elegidos no solo protegen la integridad de los sensores, sino que brindan propiedades de elasticidad, confort térmico y comodidad al deportista durante el esfuerzo físico. Por lo tanto, toda la información recopilada resultó clave para el desarrollo del textil inteligente capaz de adaptarse a las exigencias físicas y facilitar la incorporación de componentes electrónicos necesarios para el monitoreo de la actividad muscular.
- En cuanto al hardware, la implementación del sensor muscular EMG AD8832, el sistema ESP32 y la programación Arduino permitió la captura y el procesamiento de señales musculares en tiempo real. La arquitectura electrónica demostró un funcionamiento estable capaz de transformar señales eléctricas analógicas en datos digitales interpretables, lo que permitió definir rangos de referencia de la actividad muscular. También, los indicadores de coherencia (P1: 88%) y el de conectividad (P2: 84%) evidencian que el sistema de funcionamiento establece una línea base de reposo confiable y garantizan la consistencia en la transmisión de las variaciones por esfuerzo físico.
- Se confeccionó una prenda técnica funcional deportiva tipo muslera, empleando tela de neopreno de 1 mm de espesor y una densidad de 337,8 g/m^2, material compuesto por un núcleo de policloropreno con recubrimiento de tejido de punto de poliéster. Las propiedades de este material, junto con el proceso de confección y ensamblaje, aseguraron

la integración estructural, lo que permitió la integración adecuada y el resguardo de los componentes electrónicos sin afectar la comodidad y movilidad de los deportistas. Sin embargo, durante las pruebas se identificó que la prenda presenta un peso ligeramente elevado generado por los componentes, el cual podría influir en la percepción de comodidad del usuario; este aspecto representa una oportunidad de mejora en futuras versiones.

- La evaluación funcional se realizó mediante las pruebas de campo; los resultados obtenidos demostraron un funcionamiento eficaz y consistente del sistema, validado mediante el análisis estadístico de las señales electromiográficas y los porcentajes de satisfacción por parte de los usuarios. Adicionalmente, la prueba t de Student demostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0{,}00123$) entre el estado de reposo y estado posterior al ejercicio, demostrando que el sensor y el sistema integrado son capaces de detectar variaciones ante el esfuerzo físico. Finalmente, la evaluación basada en la norma ISO/IEC 25010 reflejó resultados favorables en cuanto a la adecuación funcional y la usabilidad, alcanzando una coherencia de señal del 88% y con un 84% en la conectividad del sistema. Estos resultados permiten validar al textil inteligente como una herramienta viable para el monitoreo de la actividad muscular y el seguimiento de cambios asociados al esfuerzo físico.

5.2 Recomendaciones

- Ampliar el estudio de materiales mediante la evaluación de nuevas estructuras y composiciones textiles que proporcionen mejores propiedades. De igual modo, se sugiere realizar pruebas a un mayor número de deportistas y en diferentes disciplinas deportivas

para analizar el comportamiento de estos materiales bajo diferentes condiciones de uso y esfuerzo físico, lo que potencia de este modo el uso de textiles inteligentes en el deporte.

- Para futuras aplicaciones del sistema, se plantea la incorporación de sensores electromiográficos con mayor capacidad de filtrado y procesamiento de señal. Esta mejora permitiría el incremento de la precisión de las mediciones y la reducción de posibles interferencias ocasionadas por el movimiento corporal o las condiciones de uso; además, no solo corregiría la precisión metrológica en condiciones de ejercicio de alta intensidad, sino que preservaría la estabilidad de la señal eléctrica del músculo ya validada en esta investigación.
- Con respecto a la prenda, se recomienda incorporar diseños híbridos y materiales textiles más ligeros y transpirables que conserven las propiedades del neopreno necesarias para la integración de los componentes electrónicos. También, se sugiere reorganizar la ubicación de estos componentes dentro de la prenda con el fin de reducir el peso y aumentar la comodidad durante la práctica deportiva, sin comprometer la funcionalidad ni la protección del sistema electrónico.
- Se sugiere rediseñar la arquitectura del textil inteligente con el objetivo de implementar el monitoreo continuo del músculo durante el desarrollo de actividades de alta intensidad. Esta mejora permitirá la obtención de datos en tiempo real y detectará el momento en que el músculo empieza a mostrar alteraciones. Como mejora, es viable integrar componentes de salida multisensorial directamente en la estructura del textil inteligente, tales como actuadores vibratorios de pequeño formato. Esta incorporación permitiría que el sistema emita señales táctiles cuando se detecten cambios significativos en el músculo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aarthy, P., & Rufus, E. (2025). Synthesis of conductive yarn to develop wearable electronic device. *The Journal of The Textile Institute*. https://doi.org/10.1080/00405000.2024.2320052

Adámez Gordo, R., Mancha Triguero, D., Campos Redondo, A., Martínez Sánchez, A., & García Rubio, J. (2024). Lesiones deportivas en el baloncesto y su prevención: revisión sistemática. *E-Motion: Revista de Educación, Motricidad e Investigación*, (22). https://doi.org/10.33776/remo.vi22.8103

Ahadi, E. M., Mirmotahari, S. A., & Khoobi, M. (2024). Chloroprene. *Encyclopedia of Toxicology, Fourth Edition: Volume 1-9*, *2*, 961–967. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00844-7

Ahmed, S. F., Joyo, M. K., Mahdi, H. F., & Kiwarkis, I. J. (2020). Muscle fatigue detection and analysis using EMG sensor. *7th IEEE International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences, ICETAS 2020*. https://doi.org/10.1109/icetas51660.2020.9484230

Aksović, N., Bubanj, S., Bjelica, B., Kocić, M., Lilić, L., Zelenović, M., Stanković, D., Milanović, F., Pajović, L., Čaprić, I., Milić, V., Dobrescu, T., & Sufaru, C. (2024). Sports injuries in basketball players: a systematic review. *Life*, *14*(7), 898. https://doi.org/10.3390/life14070898

Al Mahmud, A., Wickramarathne, T. I., & Kuys, B. (2020). Effects of smart garments on the well-being of athletes: a scoping review protocol. *BMJ Open*, *10*(11). https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-042127

Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, *4*(3), 163–173. https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173

Alvarez, G. A., & Zambrano, J. M. (2025). The impact of using Arduino on the development of mathematical concepts in students: a literature review O impacto da utilização do Arduino no desenvolvimento de conceitos matemáticos em estudantes: uma revisão de literatura Ciencias de la Educación Artículo de Investigación. *Polo Del Conocimiento*, *102*(1), 1008–1019. https://doi.org/10.23857/pc.v10i1.8727

Amazon. (2025). *ABENIC 5V 9800MAH batería recargable de ion-litio*. https://www.amazon.com/-/es/ABENIC-9800MAH-recargable-Protable-Bater%C3%ADa/dp/B075NC5LFT?th=1

Audaces. (2018). *Audaces: referencias mundiales en innovación tecnológica para la moda*. https://audaces.com/wp-content/uploads/2018/10/portifolio-audaces-2018-espanhol.pdf

Audaces. (2021a). *Audaces Patrones | Sistema ágil de patronaje de prendas*. https://audaces.com/es/soluciones/patrones

Audaces. (2021b). *Audaces Tizada | Software automático de tizada de patrones*. https://audaces.com/es/soluciones/tizada

AVElectronics. (2026). *ESP32 DEVKITC V1 30 pines - AV Electronics*. https://avelectronics.cc/producto/esp32-devkitc-v1-30-pines/

Barrachina, J. M. (2022). *Descubre el uso de la tela de neopreno en los regalos de empresa*. https://www.regalospublicitarios.com/regalopedia/neopreno-tela

Caballero, S., & Núñez, H. E. N. (2024). Tecnologías emergentes aplicadas en el deporte. *Ingeniería e Innovación*, *12*(2). https://doi.org/10.21897/RII.3808

Carrillo, M. V. (2021). Introducción de Arduino. *Vida Científica: Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 4*, *9*(17), 4–8. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/issue/archive

Castro, J. J., Gómez, L. K., & Camargo, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, *27*(75), 140–174. https://doi.org/10.14483/22487638.19171

Chamba, E. (2017). *Evolución de los textiles inteligentes de segunda generación o activos*. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6827

Constitución de la República Del Ecuador, 449 Registro Oficial 25 (2008). www.lexis.com.ec.

Cortés Rojas, H. F. (2024). Uso de la norma ISO 25010 para establecer requerimientos de calidad en el diseño de un prototipo tecnológico educativo basado en realidad aumentada para la enseñanza de programación básica en estudiantes de educación media. *Arandu UTIC*, *11*(2), 2603–2621. https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.452

Du, K., Lin, R., Yin, L., Ho, J. S., Wang, J., & Lim, C. T. (2022). Electronic textiles for energy, sensing, and communication. *IScience*, *25*(5), 104174. https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104174

Du, X., Tian, M., Sun, G., Li, Z., Qi, X., Zhao, H., Zhu, S., & Qu, L. (2020). Self-powered and self-sensing energy textile system for flexible wearable applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, *12*(50), 55876–55883. https://doi.org/10.1021/acsami.0c16305

Etana, B. (2025, January 27). *Electrodos textiles inteligentes: un avance en la monitorización muscular. Universidad de Gante, Facultad de Ingeniería y Arquitectura*. https://www.ugent.be/ea/en/news-events/news/smart-textile-electrodes-a-step-forward-in-muscle-monitoring

Gholami, M., Napier, C., Patiño, A. G., Cuthbert, T. J., & Menon, C. (2020). *Fatigue monitoring in running using flexible textile wearable sensors*. *20*(19), 5573. https://doi.org/10.3390/s20195573

Google Maps. (2025). *Ingeniería Textil UTN - Google Maps*. https://maps.app.goo.gl/DesdwJz8zAoC5fQS7

Goulet, J., & Cousineau, D. (2018). A review of effect sizes and their confidence intervals, Part I: The Cohen's d family. *The Quantitative Methods for Psychology*, *14*(4), 242–265. https://doi.org/10.20982/tqmp.14.4.P242

Guo, L., Sandsjö, L., Ortiz-Catalan, M., & Skrifvars, M. (2020). Systematic review of textile-based electrodes for long-term and continuous surface electromyography recording. *Textile Research Journal*, *90*(2), 227–244. https://doi.org/10.1177/0040517519858768

Haro, A., Chisag, E., Ruiz, J., & Caicedo, J. (2024). Tipos y clasificación de las investigaciones. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, *5*(2). https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1927

ISO 25000. (2024). *ISO 25010: calidad de software y datos*. https://www.iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010.

Jiménez, L. (2020). Impacto de la investigación cuantitativa en la actualidad. *Convergence Tech*, *4*(1), 59–68. https://doi.org/10.53592/convtech.v4IIv.35

Juki Inducon. (2025). *Recta pesada Juki DDL-8700H. INDUCÓN MÁQUINAS DE COSER*. https://www.inducon.com.ec/producto/ddl-8700h/

Júnior, H. L. O., Neves, R. M., Monticeli, F. M., & Dall Agnol, L. (2022). *Smart fabric textiles: recent advances and challenges*. *2*(4), 582–605. https://doi.org/10.3390/textiles2040034

Junior, M., Campos, J. J. A., Biassio, D. P., Passos, L. C. D. A. V. D., Júnior, P. C., Lazzaretti, P. B., Krueger, A. E., Jair, J., Mendes Junior, A., Prado Campos, D., Coelho De Andrade, L., De Biassio, V., Passos, P. C., Broniera Júnior, P., Lazzaretti, A. E., & Krueger, E. (2023). AD8232 to Biopotentials Sensors: open-source project and benchmark. *Electronics 2023, Vol. 12, Page 833*, *12*(4), 833. https://doi.org/10.3390/electronics12040833

Lara, L. O., & Vaca, T. N. (2025). *La Inteligencia Artificial y el futuro del aprendizaje: Innovaciones en la educación superior*. https://doi.org/10.53358/libfica/ocrh6305

Lema, J. (2023). *Sistema de monitoreo no invasivo y seguridad de factores causantes del síndrome de muerte súbita de los lactantes del centro de estimulación temprana y prenatal "Neuro Place" a través de Smart Textil*.

Li, S., Luo, Y., Cao, Y., Li, F., Jin, H., & Mi, J. (2025). Changes in shooting accuracy among basketball players under fatigue: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, *16*, 1435810. https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1435810

Lin, H. T., Kuo, W. C., Chen, Y., Lo, T. Y., Li, Y. I., & Chang, J. H. (2022). Effects of fatigue in lower back muscles on basketball jump shots and landings. *Physical Activity and Health*, *6*(1), 273–286. https://doi.org/10.5334/paah.199

Lucidchart. (2025). *¿Qué es un diagrama de flujo de procesos?* https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo-de-procesos

Medagedara, M. H., Ranasinghe, A., Lalitharatne, T. D., Gopura, R. A. R. C., & Nandasiri, G. K. (2024). Advancements in Textile-Based sEMG Sensors for Muscle Fatigue Detection: A Journey from Material Evolution to Technological Integration. *ACS Sensors*, *9*(9), 4380–4401. https://doi.org/10.1021/acssensor.4c00604

Mihajlovic, M., Cabarkapa, D., Cabarkapa, D. V., Philipp, N. M., & Fry, A. C. (2023). Recovery methods in basketball: a systematic review. *Sports*, *11*(11), 230. https://doi.org/10.3390/sports11110230

Mishra, P., Singh, U., Pandey, C. M., Mishra, P., & Pandey, G. (2019). Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, *22*(4), 407–411. https://doi.org/10.4103/aca.aca_94_19

Molina, C. (2019). *Estudio y validación de la metodología de innovación abierta aplicada al desarrollo y comercialización de textiles inteligentes*. Universidad Politécnica de Valencia.

Montañés, L. (2020). *Estudio sobre las lesiones más frecuentes en el baloncesto: revisión bibliográfica. Incidencia lesional en equipos de formación.* 2. https://zaguan.unizar.es/record/98839/files/TAZ-TFG-2020-1510.pdf

Naebe, M., Robins, N., Wang, X., & Collins, P. (2013). Assessment of performance properties of wetsuits. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, *227*(4), 255–264. https://doi.org/10.1177/1754337113481967

Neill, D. A., & Corte, L. (2018). *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica*. www.utmachala.edu.ec

NovatronicEc. (2020). *Sensor muscular ECG EMG 3.3V AD8832*. https://novatronicec.com/index.php/product/sensor-muscular-ecg-emg-3-3v-ad8832/

Ochoa, L. M. V., & Zuluaga, N. C. (2022). Los textiles inteligentes impactan en la cuarta revolución industrial en el sector de la moda en pandemia. *Encuentros de Investigación Formativa RAD*, *4*(4), 362–366. https://doi.org/10.53972/rad.eifd.2022.4.37

Odón, F. A. (2023). Investigación documental, investigación bibliométrica y revisiones sistemáticas. *REDHECS: Revista Electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social, ISSN-*

e 1856-9331, Vol. 31, Nº. 22, 2023, Págs. 9-28, *31*(22), 9–28. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9489470&info=resumen&idioma=ENG

Ortega, M. (2018). *Sistemas de evaluación de la calidad de los componentes web centrado en los usuarios finales.*

Pernigoni, M., Ferioli, D., Calleja-González, J., Sansone, P., Tessitore, A., Scanlan, A. T., & Conte, D. (2024). Match-related fatigue in basketball: a systematic review. *Journal of Sports Sciences*, *42*(18), 1–32. https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2409555

Pratama, E. W., & Kiswantono, A. (2023). Electrical analysis using esp32 module in realtime. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, *7*(2), 1273–1284. https://doi.org/10.54732/jeecs.v7I2.21

Qassim, H. M., Hasan, W. Z. W., Ramli, H. R., Harith, H. H., Mat, L. N. I., & Ismail, L. I. (2022). Proposed fatigue index for the objective detection of muscle fatigue using surface electromyography and a double-step binary classifier. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *22*(5), 1900. https://doi.org/10.3390/s22051900

Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, *10*(1), 1–7. https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356

Reyes, H. (2019). *Sensores textiles: aplicación en el campo de la ingeniería de la salud*. https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/18863

Reyes, L., & Carmona, F. A. (2020). *La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio*. https://hdl.handle.net/20.500.12442/6630

Rodríguez, M. (2020). *Jouvencel fatiga muscular cuestiones*. 1–16. www.editdiazdesantos.com

Rovira, A. (2020). *Estudio de una pieza indumentaria inteligente para el ámbito deportivo*. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/336163.

Salazar, L. S. (2020). Investigación cualitativa: una respuesta a las investigaciones sociales educativas. *CIENCIAMATRIA*, *6*(11), 101–110. https://doi.org/10.35381/cm.v6i11.327

Sánchez, Y., Raqui, C. E., Huaroc, E. J., & Huaroc, N. M. (2024). Importancia de Conocer la Normalidad de los Datos Utilizados en los Trabajos de Investigación por Tesistas. *Revista Docentes 2.0*, *17*(2), 404–413. https://doi.org/10.37843/rted.v17i2.554

Sankauskaite, A., Pauliukaite, R., Baltusnikaite-Guzaitiene, J., & Abraitiene, A. (2023). Smart textile with integrated wearable electrochemical sensors. *Current Opinion in Electrochemistry*, *42*, 101410. https://doi.org/10.1016/J.COELEC.2023.101410

Schneider, M. F., & Hernández, E. O. (2012). Skeletal Muscle Excitation-Contraction Coupling. *Muscle: Fundamental Biology and Mechanisms of Disease*, *1–2*, 811–821. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381510-1.00057-0

Sifuentes, Y., & Peralta, J. (2022). *Modelo de medición y evaluación de calidad del software basado en la norma ISO/IEC 25000 para medir la usabilidad en productos de software académicos universitarios*. 5.

Torreblanca, J. (2022). *Análisis y desarrollo de sensores en el campo de los "smart textiles" mediante un enfoque práctico en el campo de la medicina*. 1. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=314384&info=resumen&idioma=SPA

Universidad Técnica del Norte. (2024). *Líneas de Investigación*. https://investigacion.utn.edu.ec/

Vidal, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., Olmos, C. J., Vidal-Silva, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., & Olmos, C. J. (2019). Electrónica para todos con el uso de Arduino: experiencias positivas en la implementación de soluciones hardware-software. *Información Tecnológica*, *30*(6), 377–386. https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000600377

Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine*, *49*(10), e384–e384. https://doi.org/10.1038/emm.2017.194

Xu, Z., Zhang, C., Wang, F., Yu, J., Yang, G., Surmenev, R. A., Li, Z., & Ding, B. (2025). Smart textiles for personalized sports and healthcare. *Nano-Micro Letters*, *17*(1), 232. https://doi.org/10.1007/s40820-025-01749-6

Yang, W., Lin, S., Gong, W., Lin, R., Jiang, C., Yang, X., Hu, Y., Wang, J., Xiao, X., Li, K., Li, Y., Zhang, Q., Ho, J. S., Liu, Y., Hou, C., & Wang, H. (2024). Single body-coupled fiber enables chipless textile electronics. *Science*, *384*(6691), 74–81. https://doi.org/10.1126/science.adk3755

Zeng, H., He, Y., Zhao, R., Li, Z., Wang, W., Yang, M., Li, P., Tao, G., Sun, J., & Hou, C. (2024). Intelligent health and sport: an interplay between flexible sensors and basketball. *IScience*, *27*(3), 109089. https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109089

ANEXOS

Anexo 1

Código de programación utilizado para la calibración del sensor y Bluetooth

sketch_feb27a.ino

```
#include "BluetoothSerial.h"

BluetoothSerial SerialBT;
const int pinEMG = 34;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  SerialBT.begin("ESP32_EMG_Deportista"); // Nombre del dispositivo Bluetooth
  Serial.println("Bluetooth iniciado. Esperando conexión...");
}

void loop() {
  int valorEMG = analogRead(pinEMG);

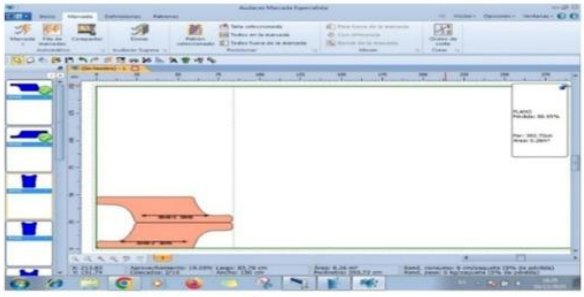
  // Enviar por Bluetooth
  SerialBT.println(valorEMG);

  // Opcional: ver en Monitor Serial (si está conectado)
  Serial.println(valorEMG);

  delay(50); // 20 muestras por segundo
}
```

Anexo 2

Patronaje, corte y ensamblado de la prenda







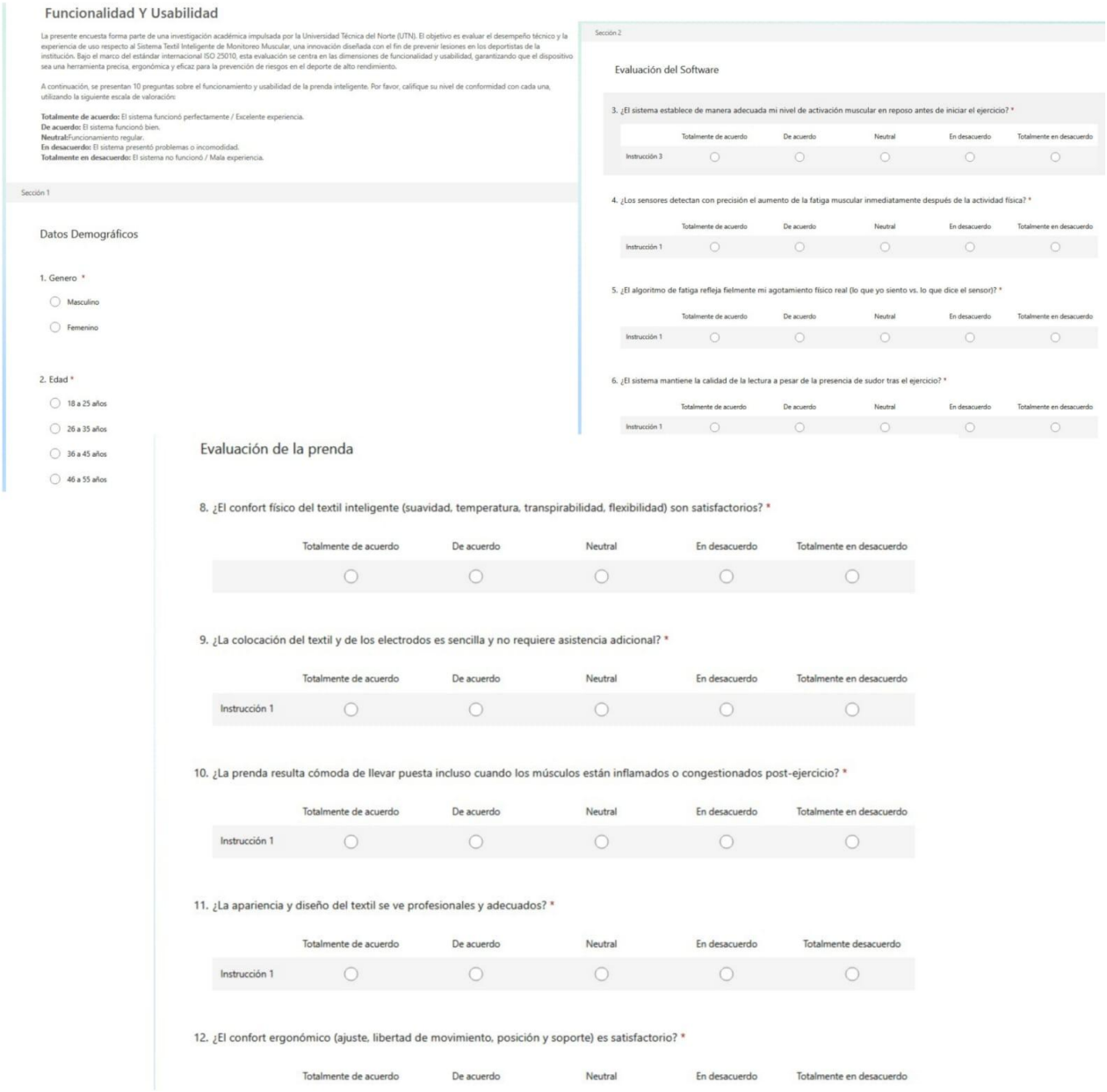
Anexo 3

Evidencia de pruebas de campo realizadas en la institución UTN



Anexo 4

Encuesta formulada con base en la norma ISO 25010 y escalas de Likert



Funcionalidad Y Usabilidad

La presente encuesta forma parte de una investigación académica impulsada por la Universidad Técnica del Norte (UTN). El objetivo es evaluar el desempeño técnico y la experiencia de uso respecto al Sistema Textil Inteligente de Monitoreo Muscular, una innovación diseñada con el fin de prevenir lesiones en los deportistas de la institución. Bajo el marco del estándar internacional ISO 25010, esta evaluación se centra en las dimensiones de funcionalidad y usabilidad, garantizando que el dispositivo sea una herramienta precisa, ergonómica y eficaz para la prevención de riesgos en el deporte de alto rendimiento.

A continuación, se presentan 10 preguntas sobre el funcionamiento y usabilidad de la prenda inteligente. Por favor, califique su nivel de conformidad con cada una, utilizando la siguiente escala de valoración:

Totalmente de acuerdo: El sistema funcionó perfectamente / Excelente experiencia.
De acuerdo: El sistema funcionó bien.
Neutral: Funcionamiento regular.
En desacuerdo: El sistema presentó problemas o incomodidad.
Totalmente en desacuerdo: El sistema no funcionó / Mala experiencia.

Sección 1

Datos Demográficos

1. Genero *
- Masculino
- Femenino

2. Edad *
- 18 a 25 años
- 26 a 35 años
- 36 a 45 años
- 46 a 55 años

Sección 2

Evaluación del Software

3. ¿El sistema establece de manera adecuada mi nivel de activación muscular en reposo antes de iniciar el ejercicio? *

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Instrucción 3	○	○	○	○	○

4. ¿Los sensores detectan con precisión el aumento de la fatiga muscular inmediatamente después de la actividad física? *

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Instrucción 1	○	○	○	○	○

5. ¿El algoritmo de fatiga refleja fielmente mi agotamiento físico real (lo que yo siento vs. lo que dice el sensor)? *

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Instrucción 1	○	○	○	○	○

6. ¿El sistema mantiene la calidad de la lectura a pesar de la presencia de sudor tras el ejercicio? *

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Instrucción 1	○	○	○	○	○

Evaluación de la prenda

8. ¿El confort físico del textil inteligente (suavidad, temperatura, transpirabilidad, flexibilidad) son satisfactorios? *

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
○	○	○	○	○

9. ¿La colocación del textil y de los electrodos es sencilla y no requiere asistencia adicional? *

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Instrucción 1	○	○	○	○	○

10. ¿La prenda resulta cómoda de llevar puesta incluso cuando los músculos están inflamados o congestionados post-ejercicio? *

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Instrucción 1	○	○	○	○	○

11. ¿La apariencia y diseño del textil se ve profesionales y adecuados? *

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente desacuerdo
Instrucción 1	○	○	○	○	○

12. ¿El confort ergonómico (ajuste, libertad de movimiento, posición y soporte) es satisfactorio? *

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo