

Device for Monitoring and Prevention of Injuries During Physical Activity Using a Smart Bracelet and Watch

Erica Alvarez-Abarca, Bach¹, Hector Casos-Mamani, Bach², Adrian Maldonado-Aguilar, Bach³, Elias Esquicha-Larico, Dr⁴, Carla Cuya-Zevallos, Mg⁵, Victor Cardenas-Gutierrez, Ing⁶, Elizabeth Mamani-Machaca, Ing⁷

Universidad Católica de Santa María, Peru,

¹erica.alvarez@estudiante.ucsm.edu.pe, ²hector.casos@estudiante.ucsm.edu.pe, ³adrian.maldonado@estudiante.ucsm.edu.pe,

⁴edesquicha@yahoo.es, ⁵ccuya@ucsm.edu.pe, ⁶71759558@ucsm.edu.pe, ⁷emamanim@ucsm.edu.pe

Abstract— The lack of supervision during physical exercise increases the risk of musculoskeletal injuries, while most commercial wearable devices are limited to recording basic physiological parameters and do not provide real-time feedback on the correct execution of movements. This limitation creates a critical gap in active injury prevention during training. This paper presents the Anti-Injury Sports Watch, a wearable system consisting of a smartwatch and sensorized wristbands that integrate motion and muscle activity sensors to analyze exercise performance and issue immediate alerts in case of incorrect movements, thereby helping to prevent injuries. A pilot study with 68 participants showed that the device would likely fulfill its preventive function. The results demonstrate the feasibility of combining physiological and biomechanical monitoring with real-time feedback to improve safety and reduce the risk of sports-related injuries.

Keywords-- Monitoring, prevention, injuries, physical activity, sensors.

Dispositivo de Control y Prevención de Lesiones Durante la Actividad Física Mediante una Pulsera y un Reloj Inteligente

Erica Alvarez-Abarca, Bach¹, Hector Casos-Mamani, Bach², Adrian Maldonado-Aguilar, Bach³, Elias Esquicha-Larico, Dr⁴, Carla Cuya-Zevallos, Mg⁵, Victor Cardenas-Gutierrez, Ing⁶, Elizabeth Mamani-Machaca, Ing⁷

Universidad Católica de Santa María, Perú,

¹erica.alvarez@estudiante.ucsm.edu.pe, ²hector.casos@estudiante.ucsm.edu.pe, ³adrian.maldonado@estudiante.ucsm.edu.pe,

⁴edesquicha@yahoo.es, ⁵ccuya@ucsm.edu.pe, ⁶71759558@ucsm.edu.pe, ⁷emamanim@ucsm.edu.pe

Resumen– La falta de supervisión durante la práctica de ejercicio físico incrementa el riesgo de lesiones musculoesqueléticas, mientras que la mayoría de los dispositivos portátiles comerciales se limitan a registrar parámetros fisiológicos básicos y no proporcionan retroalimentación en tiempo real sobre la correcta ejecución de los movimientos. Esta limitación genera una brecha crítica en la prevención activa de lesiones durante el entrenamiento. Se presenta la propuesta del Reloj Deportivo Antilesivo, un sistema portátil compuesto por un reloj inteligente y pulseras sensorizadas que integran sensores para analizar la ejecución de los ejercicios y emitir alertas inmediatas ante movimientos incorrectos, ayudando a prevenir lesiones. Un estudio piloto con 68 participantes mostró que que el dispositivo probablemente cumpliría con su función preventiva. Los resultados demuestran la viabilidad de combinar monitoreo fisiológico y biomecánico con retroalimentación en tiempo real para mejorar la seguridad y reducir el riesgo de lesiones en la práctica deportiva.

Palabras claves– Monitoreo, prevención, lesiones, actividad física, sensores, wearable.

I. INTRODUCCIÓN

Realizar ejercicios con una técnica inadecuada o sin supervisión puede aumentar significativamente el riesgo de lesiones, especialmente en personas que entran por cuenta propia [1],[2],[3],[4].

En respuesta a esta problemática, en los últimos años se han popularizado dispositivos tecnológicos como relojes y pulseras inteligentes que permiten monitorear parámetros fisiológicos, entre ellos la frecuencia cardíaca, las calorías quemadas o la distancia recorrida. Sin embargo, la mayoría de estos dispositivos no son capaces de detectar errores en la ejecución de los movimientos ni ofrecen mecanismos de prevención de lesiones [5],[6],[7].

Esta limitación pone de manifiesto la necesidad de contar con sistemas que no solo registren variables fisiológicas, sino que también analicen la técnica de entrenamiento y emitan advertencias oportunas para reducir el riesgo de lesiones.

Con el objetivo de cubrir esa necesidad, se presenta el desarrollo del Reloj Deportivo Antilesivo, un sistema portátil de monitoreo compuesto por un reloj inteligente y una o más pulseras sensorizadas [6]. El dispositivo combina sensores de movimiento y de ritmo cardíaco para analizar en tiempo real la

forma en que el usuario realiza sus ejercicios. Cuando detecta un movimiento incorrecto o potencialmente riesgoso, emite una alerta inmediata mediante vibración o sonido, lo que contribuye a la prevención de lesiones. Además, incluye una aplicación móvil que permite crear rutinas personalizadas, visualizar el desempeño y sincronizar los datos en la nube para su análisis y seguimiento. De esta manera, el Reloj Deportivo Antilesivo constituye una herramienta innovadora que integra salud, tecnología y deporte para hacer del entrenamiento una actividad más segura.

II. ANTECEDENTES

En los últimos años, el desarrollo de dispositivos portátiles para el monitoreo de la actividad física ha avanzado significativamente, con un enfoque creciente en la salud y el bienestar [8],[9]. Dispositivos como relojes inteligentes y pulseras deportivas permiten medir parámetros fisiológicos básicos, tales como la frecuencia cardíaca, la distancia recorrida, las calorías quemadas y la duración del ejercicio. Sin embargo, estas tecnologías presentan limitaciones al no ofrecer una evaluación detallada de la ejecución técnica de los movimientos, lo que es fundamental para prevenir lesiones durante la práctica deportiva.

La patente US20150201853A1 [10] describe un dispositivo portátil centrado principalmente en la monitorización de la frecuencia cardíaca y el control del consumo energético, lo cual es relevante para optimizar el rendimiento deportivo, pero no aborda la detección de posturas o movimientos incorrectos que puedan causar daño físico. Por otro lado, el dispositivo descrito en la patente US7648463 [11] integra sensores ópticos en gafas inteligentes para monitorear parámetros fisiológicos y de actividad, mostrando que los wearables pueden extenderse a diferentes formatos y funcionalidades, aunque su aplicación no está orientada a la prevención activa de lesiones.

Por su parte, la patente CN104138253B [12] introduce métodos para la medición continua y no invasiva de la presión arterial, demostrando la evolución de sensores biométricos en dispositivos portátiles, pero sin abordar la corrección de movimientos físicos. En cuanto a la interacción mediante gestos, la patente ES1142331U [13] presenta un smartwatch con sensores de movimiento que permiten controlar funciones

del dispositivo mediante gestos, lo que refleja la capacidad de interpretar movimientos corporales, aunque en un contexto diferente al deportivo.

Finalmente, trabajos recientes como el prototipo de mano robótica controlada por señales electromiográficas [14], basado en el brazalete MYO [15], evidencian el avance en la detección y procesamiento de movimientos musculares para aplicaciones tecnológicas. Sin embargo, esta tecnología se orienta a la robótica y control de prótesis, mientras que, en el ámbito deportivo, la integración de sensores para la corrección y prevención de movimientos lesivos sigue siendo un área con oportunidades de innovación.

III. CONCEPTOS BÁSICOS

Para entender el funcionamiento y relevancia del dispositivo propuesto, tenemos que comprender algunos conceptos relacionados a este:

A. Wearables:

Se refiere a dispositivos electrónicos que se integran en el cuerpo y permite la recopilación de datos en tiempo real. [16]

B. ESP32:

Es una placa de desarrollo basada en un microcontrolador de bajo coste y alto rendimiento, desarrollada por Espressif Systems, que integra conectividad Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip, es mucho mejor que un Arduino (ver Fig.1) [17] [18].



Fig. 1. ESP32

C. Sensores de movimiento (IMU):

Incluyen los acelerómetros y giroscopios, que nos permitirán registrar la posición, orientación y aceleración del cuerpo en tiempo real (ver Fig.2) [19]

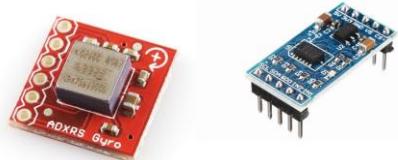


Fig. 2. Sensores de movimiento (IMU)

D. EMG/MMG:

Sensores que detectan la actividad muscular de manera superficial, o sea, por movimientos, permitiendo analizar la contracción de los músculos cuando se realiza algún movimiento (ver Fig.3) [20]

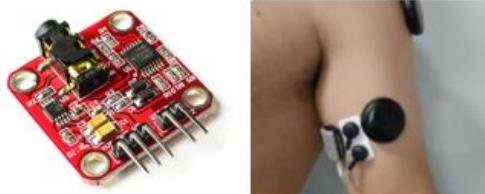


Fig. 3. EMG/MMG

E. Bluetooth:

Tecnología de comunicación inalámbrica utilizada para intercambiar datos entre dispositivos.

F. Alertas hapticas y sonoras:

Mecanismos para notificar al usuario sobre movimientos peligrosos a través de sonidos y/o vibraciones. [21], [22]

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Pese al aumento de dispositivos orientados al deporte, existe una carencia en solución que nos permita detectar y corregir movimientos incorrectos en tiempo real durante la actividad física. El incremento de actividad física sin la supervisión adecuada ha llevado a una creciente incidencia de lesiones musculares en deportistas amateurs y profesionales. A continuación, se detalla el problema de forma estructurada, apoyada en datos y estudios recientes.

A. Incremento de lesiones durante la actividad física

Diversos estudios han identificado un aumento de 30% en lesiones relacionadas al entrenamiento físico mal ejecutado, especialmente en rutinas de fuerza o de alta intensidad [16]. Estas lesiones se deben en parte a la sobrecarga en articulaciones y tejidos blandos.

Estadísticas subrayan la magnitud del problema, ver tabla I:

- Entre 2011 y 2014, se registraron anualmente un promedio de 8.6 millones de lesiones durante actividades deportivas o recreativas en EE. UU., lo que equivale a 34.1 episodios por cada 1,000 personas.
- En 2023, 3.7 millones de personas fueron tratadas en departamentos de emergencia por lesiones relacionadas con equipos deportivos y recreativos. [22]
- Los esguinces y las distensiones son las lesiones más comunes, representando aproximadamente el 25-30% de todas las lesiones deportivas reportadas, típicamente causadas por cambios rápidos de dirección o uso excesivo.
- Estudios han identificado un aumento del 30% en las lesiones relacionadas con el entrenamiento físico mal ejecutado, especialmente en rutinas de fuerza o alta intensidad. [23]
- La edad y el género también influyen en la probabilidad de lesión, con tasas que aumentan a medida que los niños crecen y participan en deportes más competitivos. Las consecuencias en la salud física incluyen tendinitis, esguinces, desgarros musculares, desequilibrios de fuerza entre músculos y sobreesfuerzos cardiovasculares peligrosos.

TABLA I.
PROBLEMÁTICA DETALLADA EN CARACTERÍSTICAS Y TIPO DE INCIDENCIA.

Característica	Detalle
Incidencia Anual (EE. UU.)	3.7 millones de personas tratadas
Visitas a Emergencias (2023)	Aumento del 30% en estudios recientes
Lesiones por Actividad Física Mal Ejecutada	Esguinces y distensiones (25-30% del total)
Tipos Más Comunes de Lesiones [26]	Estrés innecesario en articulaciones y tendones; reduce rendimiento
Impacto de Técnica Inadecuada	Personas que entran por cuenta propia (sin supervisión)
Población Vulnerable	8.6 millones de lesiones (2011-2014)

B. Limitaciones de los dispositivos actuales

1) *Seguimiento pasivo*: La mayoría de wearables del mercado se enfocan solo en registrar parámetros básicos como frecuencia cardíaca, seguimiento de pasos y calorías quemadas. Sin embargo, no ofrecen una corrección en tiempo real del movimiento.

2) *Falta de retroalimentación inmediata*: El análisis posterior a una rutina no previene en tiempo real las posturas incorrectas ni evita lesiones durante el entrenamiento. [20],[21]

3) *Desconexión entre datos y acción*: Aunque algunos dispositivos pueden recoger métricas avanzadas, no se ven reflejadas en alertas inmediatas al usuario sobre un riesgo potencialmente lesivo. [16]

C. Factores que agravan la problemática

1) *Información de los deportistas*: La popularidad de videos y redes sociales como fuente de ejercicio ha derivado en una ejecución no supervisada de rutinas complejas o con potencial riesgo lesivo.

2) *Accesibilidad tecnológica sin orientación*: El acceso masivo a relojes inteligentes y otros dispositivos deportivos ha generado una falsa sensación de seguridad entre usuarios inexpertos. Al no conocer explícitamente qué examina al momento de realizar su rutina, el usuario no puede saber a ciencia cierta si los datos recopilados son útiles para prevenir lesiones.

3) *Falta de personalización*: Muchos dispositivos ofrecen rutinas genéricas sin considerar variables individuales como historial de lesiones, tipo de cuerpo o nivel de experiencia del usuario.

D. Consecuencias en la salud física

1) *Lesiones articulares y musculares*: Movimientos repetitivos MLA ejecutados pueden causar tendinitis, esguines y desgarros musculares. [25]

2) *Descompensaciones*: Una técnica mal aplicada puede llevar a desequilibrios de fuerza entre músculos, elevando el riesgo de lesiones.

3) *Sobrecarga del sistema cardiovascular*: Entrenamiento que no están regulados pueden llevar sobreesfuerzos peligrosos.

E. Necesidad de soluciones preventivas

La problemática expuesta resalta la necesidad de desarrollar tecnologías portátiles que no solo registren datos generales de un usuario al momento de realizar ejercicio, sino que también intervengan en tiempo real durante la práctica del ejercicio. Es importante contar con dispositivos que analizan en tiempo real los patrones de movimiento.

El estudio y aplicación del proyecto, por el momento, está proyectado a la ciudad de Arequipa, lugar donde, mayormente, tienden a realizar ejercicio sin medir las consecuencias y efectos que podría traer la aplicación de prácticas deportivas sin una supervisión y conocimiento adecuado. Según el INEI (2023), en Arequipa, la población es de 1 569 310. Esto representa el 4.7% de la población total en el Perú. Según el MINSA, el 40% de la población realiza ejercicio regularmente, entonces, en base a esto, armamos una encuesta enfocada a personas que realizan deporte. Para obtener el tamaño de la muestra, se usó lo siguiente:

$$n = \frac{1567027 * 1.645^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 * (1567027 - 1) + 1.645^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 68 \text{ encuestados}$$

El resultado final nos demuestra que, el tamaño de la muestra necesaria es de 68 personas.

V. MATERIALES

Refiriéndonos al dispositivo, el sistema se compone de tres elementos principales (ver fig. 4):

1) *Reloj deportivo antilesivo*: Fabricado con carcasa de titanio, pantalla OLED táctil y un procesador ESP32 [26] con conectividad Bluetooth. Incorpora un pulsómetro óptico (MAX30102), giroscopio MPU-6050 [27] y sistema de vibración (motor EMR 3V). Se alimenta mediante batería de polímero de litio recargable. [28]

2) *Pulseras deportivas*: Equipadas con sensores EMG/MMG [29] para captar el movimiento muscular, acelerómetros, giroscopios, pulsómetros secundarios y LEDs de notificación. Los datos recopilados son transmitidos al reloj vía Bluetooth para sus análisis.

3) *Software adicional*: Aplicación móvil para crear rutinas personalizadas y visualizar desempeño. Firmware del reloj para procesar datos y activar alertas en tiempo real. Servidor en la nube para sincronizar los datos entre la aplicación y el reloj.

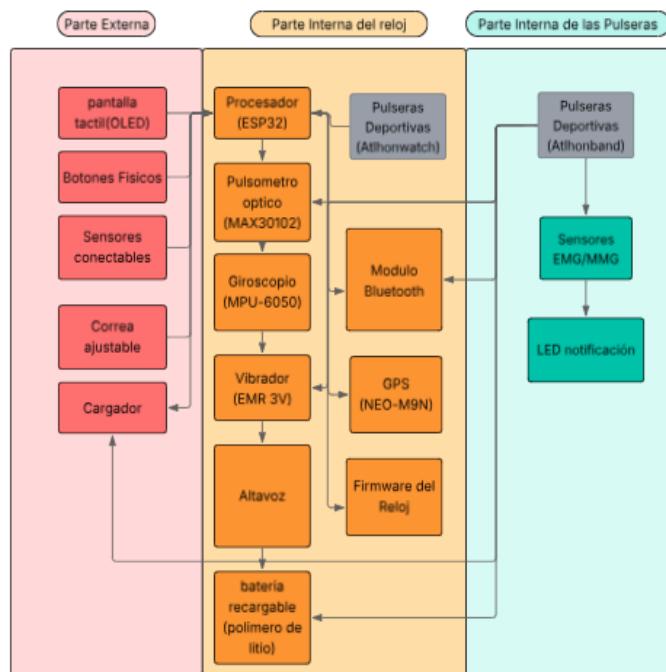


Fig. 4. Diagrama de funcionamiento de reloj deportivo antilesivo y pulseras deportivas.

VI. MÉTODOLOGÍA

Sobre los métodos, se empleó un diseño de investigación cuantitativo, descriptivo y transversal, utilizando una encuesta administrada en dos fases: un pre-test y post-test. Este enfoque

nos permitió evaluar el conocimiento inicial de los participantes sobre las lesiones durante el deporte y, posteriormente, recopilar percepciones sobre un reloj deportivo. En este caso, la herramienta exacta para obtener los datos fue Google Forms. La recolección de datos se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre 02/06/2025 hasta 27/06/2025. Se difundió el enlace a través de redes sociales y, de manera presencia a estudiantes universitarios de la Universidad Católica de Santa María.

La metodología seguida para tener el primer prototipo del Reloj Deportivo Antilesivo, incluye no solo el diseño e implementación de prototipo, sino también una revisión exhaustiva en las necesidades y comodidad del usuario. A continuación, se detallarán cada una de estas fases.

A. Fase 1: Diseño del sistema

1) *Recolección de requisitos:* Se realizó una revisión técnica de patentes relacionadas para identificar limitaciones de los dispositivos existentes. Luego se identificaron las necesidades claves del problema: detección de movimientos incorrectos y alertas en tiempo real. Finalmente se consideraron parámetros fisiológicos y biomecánicos relevantes para la prevención de lesiones.

2) *Diseño conceptual:* Se desarrolló el modelo funcional del sistema, especificando la interacción entre reloj, pulseras, sensor y software. Luego se elaboraron diagramas de bloques, flujos de datos y esquemas preliminares del sistema. Finalmente se plantearon conceptos sobre el firmware, estructura de la aplicación y el entorno de almacenamiento en la nube.

3) *Selección de componentes:* Se eligieron los componentes por su precisión, bajo consumo, intento en disminuir precios y disponibilidad. Se validó la compatibilidad entre los componentes mecánicos, sensores y microcontroladores.

B. Fase 2: Implementación

1) *Desarrollo del prototipo:* Se ensambló cada componente en función del diseño conceptual. Luego se diseñaron carcásas a mano y en blanco y negro.

2) *Desarrollo de Software y Pruebas de Compatibilidad:* Esta fase, implica el diseño y la implementación de los métodos de procesamiento de señales y reconocimiento de patrones de movimiento. La sofisticación de estos métodos es fundamental, ya que transforman los datos brutos de los sensores (IMU, EMG/MMG) en información biomecánica accionable. Se desarrollará el firmware del reloj y la aplicación móvil, asegurando la comunicación fluida y la compatibilidad entre todos los dispositivos y módulos de software. Esto incluye el desarrollo de métodos para interpretar la variabilidad en la forma y las irregularidades temporales de los movimientos, permitiendo una detección precisa de la técnica incorrecta.

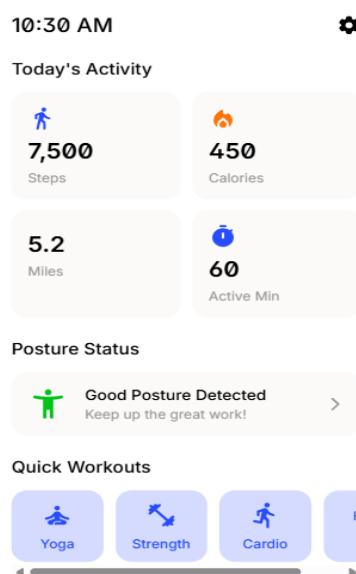


Fig. 5. Mockup de interfaz “inicio” de la aplicación para dispositivos móviles.

Esta Fig.5 exhibe el diseño inicial. Sirve como puerta de entrada a todas las funcionalidades, mostrando elementos importantes como el home, actividades, workouts y perfil del usuario.

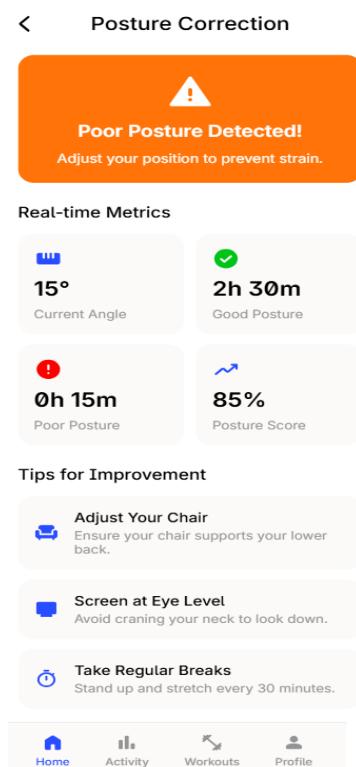


Fig. 6. Mockup de interfaz “posture correction” de la aplicación para dispositivos móviles.

Se observa en la fig.6. la interfaz dedicada a la corrección de postura. Ilustra de manera visual cómo la aplicación guiará al usuario en tiempo real mediante indicaciones, retroalimentación y alertando cuando se tiene una mala postura, ayudándolos a adoptar una postura adecuada durante sus actividades.

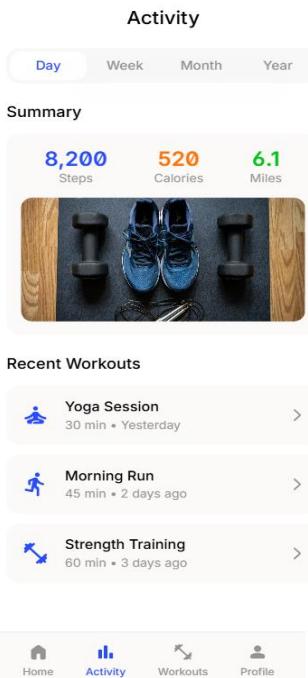


Fig. 7. Mockup de sección "activity" en aplicación para dispositivos móviles.

En la fig.7. se detalla la sección de "Actividad", un centro integral donde los usuarios podrán visualizar su progreso diario, revisar sus ejercicios y analizar métricas relacionadas con su movimiento.

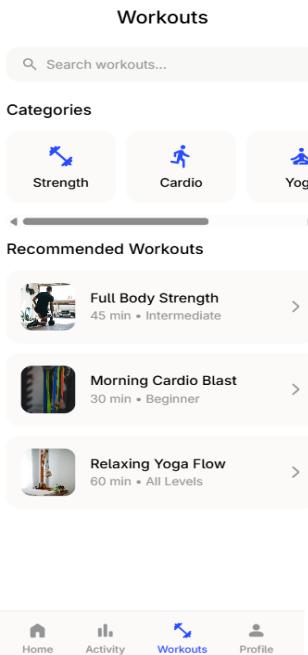


Fig. 8. Mockup de sección "workouts" en aplicación para dispositivos móviles.

En la sección de "Entrenamientos" ver fig.8, un espacio dedicado donde se presentan de forma organizada las diversas rutinas y ejercicios disponibles dentro de la aplicación. Los usuarios pueden explorar y seleccionar programas de entrenamiento personalizados según sus objetivos.

Destaca las opciones recreativas integradas en el dispositivo, como la gestión de música o la visualización de contenido multimedia, diseñadas para complementar la experiencia del usuario.



Fig. 9. Mockup de sección "salud" en el reloj deportivo antiesivo.

En esta fig. 9. muestra las métricas y funciones avanzadas relacionadas con el bienestar del usuario, incluyendo el monitoreo de calorías quemadas, pasos, distancias ya que son indicadores vitales que contribuyen a un estilo de vida saludable.

C. Fase 3: Pruebas y Validación

Se planifican pruebas funcionales para asegurar que todas las características del sistema operen según lo previsto. Se evaluará la precisión de la detección de movimientos incorrectos y la efectividad de las alertas. Se realizarán pruebas de usabilidad con usuarios reales para recopilar retroalimentación sobre la interacción y la experiencia, y pruebas de seguridad para garantizar la privacidad de los datos y la protección contra accesos no autorizados.

1) Pruebas de Usabilidad: Se llevarán a cabo sesiones con usuarios reales para documentar los resultados, mostrando el impacto del dispositivo y su aceptación. Se recogerá retroalimentación cualitativa y cuantitativa sobre la interacción y la experiencia de usuario para el análisis y priorización de acciones pertinentes.

D. Fase 4: Seguimiento, evaluación y mejora continua

Esta fase implica un proceso iterativo de monitoreo de la interacción del usuario, análisis de los datos recopilados y retroalimentación para identificar oportunidades de mejora. Las actualizaciones de software y los ajustes de hardware se implementarán para optimizar la funcionalidad, eficiencia y adaptabilidad a las necesidades cambiantes de los usuarios. Esta fase permite la recopilación de datos a gran escala para refinar continuamente la detección, haciendo que el sistema sea más robusto y personalizado con el tiempo.

VII. FUNCIONAMIENTO ESPERADO

El sistema inicia la configuración del usuario a través de una aplicación móvil. Una vez iniciada la rutina, los sensores de movimiento y ritmo cardíaco recopilan los datos en tiempo real. Los datos recopilados son analizados por el firmware del reloj, que identifica patrones lesivos asociados a una ejecución incorrecta el ejercicio. Para solucionar este problema es importante que se hagan dos cosas importantes: detectar el movimiento realizado y advertir/sugerir al usuario del cambio de postura y técnica al momento de realizar ejercicio. El software y firmware del reloj está conectado a una base de datos, donde estarán cargados patrones de ejercicios incorrectos y correctos para que, cuando se detecte alguno de estos, advierta o alerte al usuario en caso de hacer un movimiento erróneo o, en su lugar, comunicarle que está haciendo las cosas bien.

Ante una detección de riesgo, se activa una alerta háptica (vibración) y sonora en el reloj, advirtiendo al usuario. Los datos recopilados serán críticos para el posterior análisis y evaluación de un entrenador o profesional de la salud, además de ser cargado a una base de datos donde, se guardarán nuevas posturas erróneas a través de recopilación de patrones que un usuario ya realizó.

Sobre el software, se espera que todos los mockups mostrados puedan quedar en la fase final, aunque, al tratarse de versiones piloto del modelo inicial, es posible que la mayoría de estos estén sujetos a constantes cambios y actualizaciones, esto con el fin de añadir/retirar funciones que sean más o menos relevantes, para cubrir más necesidades del usuario o que sean útiles para el usuario.

Sobre la infraestructura general, se espera que los datos recopilados sean tratados en una base de datos y que, en un futuro, con una IA Generativa, se pueda generar de manera automática de acuerdo con las necesidades de un usuario.

VII. PRESUPUESTO

El presupuesto es aproximado y podría variar según proveedor y cantidades adquiridas, ver tabla II.

TABLA II.
PRESUPUESTO

Componente	Costo (usd) Aprox.
Pantalla oled táctil	15
Esp32 (procesador)	10
Pulsómetros (max30102 y max 30100)	25
Sensores emg/mmg	40
Giroscopio imu (mpu-6050, lm9ds)	15
Baterías de litio	10
Sistema de vibración	5
Cargador con conectores magnéticos	20
Carcasa y correas	25
Otros componentes electrónicos	30
Total por prototipo	195 USD

VIII. RESULTADOS

El desarrollo del prototipo del Reloj deportivo Antilesivo ha demostrado la viabilidad de implementar un sistema portátil que combina sensores de movimiento y monitoreo fisiológico

para la prevención activa de lesiones durante la actividad física. Este avance representa una mejora en comparación con los dispositivos tradicionales, que se limitan principalmente a informar al usuario sobre parámetros básicos sin ofrecer retroalimentación correctiva en tiempo real.

La principal diferenciación radica en su capacidad para no solo monitorear, sino también alertar al usuario en tiempo real sobre movimientos incorrectos. Esta funcionalidad aborda una limitación de las soluciones existentes, donde la información recopilada no se traduce en alertas inmediatas y útiles para la prevención de lesiones. La retroalimentación háptica y sonora permite al usuario ajustar su técnica al instante, lo cual es fundamental para el aprendizaje motor y la reducción del riesgo de lesiones por mala forma. La personalización de rutinas mediante la aplicación móvil y el almacenamiento de datos en la nube refuerzan el valor del sistema para usuarios y especialistas, facilitando el seguimiento a largo plazo y la mejora continua de los algoritmos.

La descripción del problema subraya una clara necesidad de esta solución, dada la prevalencia de lesiones por mala técnica y las limitaciones de los *wearables* actuales. Estudios similares indican un interés general en soluciones tecnológicas para la seguridad y el bienestar, lo que sugiere una buena aceptación para un dispositivo que actúa como "entrenador virtual" para una técnica de ejercicio segura.

Por otro lado, tras realizar un PRE-TEST y POST-TEST y no llegar a la muestra necesaria, sino únicamente a 68 respuestas, optamos por extrapolar los resultados con los números que tenemos orientado al total que necesitamos, ver Fig.10.

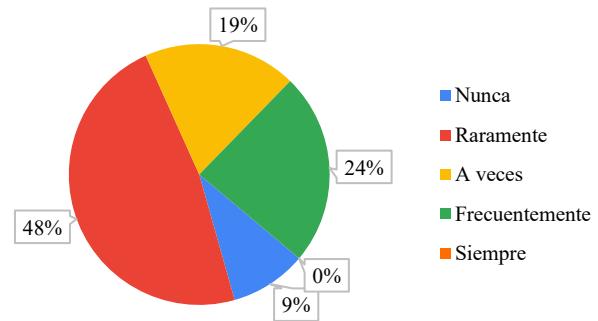


Fig. 10. Resultados de PRE-TEST. Pregunta sobre la frecuencia de molestias o lesiones después de realizar actividad física.

Para extrapolar este primer resultado del PRE-TEST y obtener las 68 respuestas necesarias, necesitamos calcular el número que correspondería a cada opción basada en las proporciones que tenemos. Primero, calculamos la cantidad de respuestas de cada categoría si tuviéramos 68 respuestas en total. Los porcentajes serían:

- Nunca: 9.5%
- Raramente: 47.6%
- A veces: 19%
- Frecuentemente: 23%
- Siempre: 0%

Para calcular, hacemos el siguiente cálculo en las secciones de cada tipo de respuesta.

$$1. \text{ Nunca: } 68 * 0.095 = 6.46 = 6 \text{ respuestas}$$

2. Raramente: $68 * 0.476 = 32.36 = 32$ respuestas
3. A veces: $68 * 0.19 = 12.92 = 13$ respuestas
4. Frecuentemente $68 * 0.23 = 15.64 = 16$ respuestas
5. Siempre $68 * 0 = 0$ respuestas

Para extrapolar el segundo resultado, que sería el POST-TEST y obtener las 68 respuestas necesarias, seguiremos la metodología anterior con una de las preguntas más relevantes del formulario, la diferencia será, en las proporciones, ya que en esta tenemos 30 respuestas, ver Fig.11.

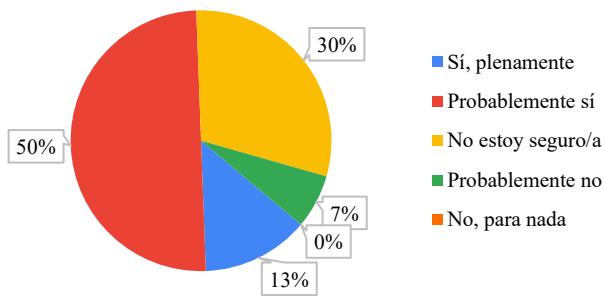


Fig. 11. Resultados de POST-TEST del objetivo principal.

Haremos el mismo cálculo en las secciones de cada tipo de respuesta.

1. Nunca: $68 * 1.133 = 9.04 = 9$ respuestas
2. Probablemente sí: $68 * 0.50 = 34$ respuestas
3. No estoy seguro/a: $68 * 0.30 = 20.4 = 20$ respuestas
4. Probablemente no: $68 * 0.067 = 4.556 = 5$ respuestas
5. No, para nada: $68 * 0 = 0$ respuestas

Estos resultados extrapolados nos dan una idea de cómo se distribuirían las 68 respuestas si las proporciones originales se mantuvieran, indicando la percepción general sobre la efectividad de los relojes deportivos con funcionalidades antilesiones. Basándonos en esto, la percepción sobre la eficacia del reloj es la siguiente:

- Una gran mayoría, aproximadamente 34 respuestas, cree que Probablemente sí cumpliría su objetivo. Esto denota un optimismo generalizado y una expectativa positiva hacia la tecnología preventiva en el ámbito deportivo.
- Cerca de 20 respuestas se encuentran en la categoría de No estoy seguro/a, lo que indica que, si bien hay esperanza, también existe una porción considerable de la población con dudas o falta de información sobre la eficiencia real de estos dispositivos.
- Solo un pequeño número, alrededor de 9 respuestas, cree Sí, plenamente que el reloj cumpliría su objetivo, lo que sugiere que la confianza total en la tecnología es limitada, aunque positiva.
- Aproximadamente 5 respuestas caen en la categoría de Probablemente no, lo que muestra un escepticismo minoritario.
- Nadie de la muestra extrapolada considera que el reloj No, para nada cumpliría su objetivo.

IX. DISCUSIÓN

El desarrollo del Reloj Deportivo Antilesivo demuestra que un sistema portátil, accesible y con retroalimentación inmediata puede contribuir a la prevención de lesiones en personas que entran sin supervisión profesional [30]. Los resultados del POST-TEST, donde más del 50% de los encuestados indicó que el dispositivo "probablemente sí" cumpliría con su objetivo preventivo, refuerzan esta conclusión y respaldan la hipótesis de que soluciones de bajo costo, fácil uso con mecanismos de alerta en tiempo real favorece la seguridad durante la práctica deportiva.

En comparación con estudios previos, nuestro dispositivo aporta un enfoque diferenciado. Analizado en el sistema RecoFit, desarrollado por Morris et al. [8], permite reconocer ciertos ejercicios mediante sensores portátiles, mientras que la propuesta incorpora mecanismos de corrección en tiempo real mediante vibración o sonido, lo que promueve un aprendizaje motor activo. De manera similar, estudios como el de Zhang et al. (2022) [30] plantean el uso de sensores con IA para el análisis de movimientos de alto rendimiento. Estos hallazgos coinciden con lo expuesto por Perch.fit [31], quienes destacan que la retroalimentación inmediata mejora significativamente la ejecución técnica de los deportistas.

Las implicaciones de este hallazgo son relevantes tanto en el ámbito de la salud como en el del entrenamiento deportivo, ya que evidencian que la integración de sensores portátiles y retroalimentación inmediata puede trasladarse con éxito más allá del deporte profesional hacia contextos cotidianos, democratizando así la prevención de lesiones.

No obstante, es importante señalar que la propuesta se encuentra en fase piloto, con un tamaño de la muestra reducido y un alcance geográfico limitado. Asimismo, se requiere validación en escenarios deportivos reales y con poblaciones más diversas para confirmar la eficacia del dispositivo.

Futuras investigaciones podrían integrar algoritmos de aprendizaje automático que personalicen las alertas de acuerdo con el historial biomecánico del usuario, siguiendo líneas como las planteadas por Shang et al. [4] sobre optimización del aprendizaje motor con sensores portátiles. Estas mejoras o consideraciones permitirán abordar sistemas más adaptativos y precisos, consolidando el papel del Reloj Deportivo Antilesivo como una herramienta innovadora y relevante en la prevención de lesiones deportivas.

X. CONCLUSIONES

El Reloj Deportivo Antilesivo representa una propuesta innovadora que busca transformar el enfoque pasivo de los dispositivos deportivos dedicados al monitoreo durante la actividad física. Su capacidad para detectar errores durante la ejecución de ejercicios y alertar al usuario en tiempo real lo convierte en una herramienta invaluable para reducir las lesiones, especialmente en entornos donde el usuario no cuenta con supervisión o apoyo de un especialista.

Aborda una necesidad crítica no satisfecha por los wearables actuales, la prevención activa de lesiones mediante la detección en tiempo real de la técnica de movimiento incorrecta y la provisión de retroalimentación inmediata. Esto

lo distingue de los dispositivos que solo ofrecen monitoreo pasivo de parámetros fisiológicos básicos.

La integración de sensores de movimiento (IMU) y de actividad muscular (EMG/MMG) permite una comprensión más profunda y completa de la biomecánica del usuario. Esta combinación proporciona datos cinemáticos y musculares que son importantes para identificar patrones de movimiento lesivos, superando las limitaciones de los sistemas que se basan en un solo tipo de sensor.

El sistema de alertas hapticas y sonoras facilita un bucle de retroalimentación instantáneo, permitiendo a los usuarios corregir su técnica durante el ejercicio. No solo previene lesiones en el momento, sino que también acelera el aprendizaje motor y fomenta la auto-corrección.

La capacidad de recopilar y analizar datos de patrones de movimiento de usuarios reales puede utilizarse para refinar la detección, haciendo que el sistema sea más preciso y personalizado con el tiempo. Esto también permite la escalabilidad y la posibilidad de ofrecer análisis avanzados a profesionales de la salud y entrenadores.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Católica de Santa María (UCSM) por su invaluable contribución en nuestra formación profesional.

REFERENCIAS

- [1] The Biomechanics, “Can different exercise technique lead to injury?,” 2023. [Online]. Available: <https://www.thebiomechanics.com.au/blogs/can-different-exercise-technique-lead-to-injury-db8c6>
- [2] D. Kožlenia and K. Kochan-Jacheć, “The Impact of Interaction between Body Posture and Movement Pattern Quality on Injuries in Amateur Athletes,” Journal of Clinical Medicine, vol. 13, no. 5, p. 1456, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/jcm13051456>
- [3] S. Shan, G. Wang, and L. Li, “A Wearable-Sensor System with AI Technology for Real-Time Biomechanical Feedback Training in Hammer Throw,” Sensors, vol. 22, no. 1, p. 328, 2022.
- [4] X., Shan, G., Wang, Y., Wan, B., & Li, H. (2019). Wearables, Biomechanical Feedback, and Human Motor-Skills’ Learning & Optimization. *Applied Sciences*, 9(2), 226.
- [5] A. Ç. Seçkin, B. Ateş, and M. Seçkin, “Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities,” Applied Sciences, vol. 13, no. 18, p. 10399, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app131810399>
- [6] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, and M. Rodgers, “A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation,” Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol. 9, no. 1, p. 21, 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>
- [7] A. Ç. Seçkin, B. Ateş, and M. Seçkin, “Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities,” Applied Sciences, vol. 13, p. 10399, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app131810399>
- [8] H. Morris et al., “RecoFit: A wearable sensor system for recognizing fitness exercises,” in Proc. SIGCHI Conf. Human Factors in Computing Systems, Toronto, ON, Canada, 2014, pp. 3225–3234.
- [9] Maxim Integrated, “MAX30102 Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health,” 2020. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX30102.pdf>
- [10] Google Patents, “US20150201853A1 - Portable device and method for monitoring a user’s physical activity and heart rate,” [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US20150201853A1/en>
- [11] Google Patents, “US7648463 - Health monitoring device,” [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US7648463/en>
- [12] Google Patents, “CN104138253B - Method and device for continuous non-invasive blood pressure measurement,” [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/CN104138253B/en>
- [13] Google Patents, “ES1142331U - Smartwatch con capacidad de control gestual,” [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/ES1142331U/es>
- [14] Number Analytics, “Smart Textiles: The Future of Wearable Tech,” 2025. [Online]. Available: <https://www.numberanalytics.com/blog/smart-textiles-future-wearable-tech>
- [15] Y. Gallardo-Castro, C. Roncancio-Torres, and R. Bello, “Control de una mano robótica mediante señales electromiográficas usando el brazalete Myo,” Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, vol. 4, no. 2, pp. 12–25, 2021
- [16] C. Cao and X. Liu, “Predicting sports injuries with machine learning technology: Enhancing athletes’ life expectancy through biomechanical analysis,” Molecular & Cellular Biomechanics, vol. 22, p. 1408, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.62617/mcb1408>
- [17] J. Esquicha-Tejada, S. Pari-Larico, B. Llerena-Urday, Á. Fernández Del Carpio, and K. Rosas-Paredes, “Interactive Toy to Strengthen the Memory, Attention and Logic of Primary Education Students Using Sphero, Arduino and Neurosky Mindwave EEG,” in Proceedings of the 6th Iberoamerican Conference of Computer Human Interaction, 2020. Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-2747/paper23.pdf>
- [18] J. Alpaca Rendón, J. Esquicha Tejada, and K. Rosas Paredes, “Hospitalized patients caring system using Raspberry Pi with megapixel camera and OpenCV [Sistema de atención a pacientes hospitalizados utilizando Raspberry Pi con Cámara Megapíxel y OpenCV],” Proceedings of the LACCEI International Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2017-July, DOI: [10.18687/LACCEI2017.1.1.223](https://doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.223).
- [19] iMeasureU, “IMU Sensors: What are they and how are they used in sports?,” [Online]. Available: <https://imeasureu.com/knowledge/imu/>
- [20] Noraxon, “5 Principles for Electromyography Use in Sport,” [Online]. Available: <https://www.noraxon.com/5-principles-for-electromyography-use-in-sport>
- [21] Perch.fit, “How Real-Time Feedback Enhances Athlete Training,” 2025. [Online]. Available: <https://perch.fit/blog/how-real-time-feedback-enhances-athlete-training>
- [22] Perch.fit, “The Psychology of Real-Time Feedback: Why Athletes Respond Faster to Live Data,” 2025. [Online]. Available: <https://www.perch.fit/blog/the-psychology-of-real-time-feedback>
- [23] National Safety Council, “Sports and Recreational Injuries - Injury Facts,” 2025. [Online]. Available: <https://injuryfacts.nsc.org/home-and-community/safety-topics/sports-and-recreational-injuries/>
- [24] T. Murai, “Quantitative and simple estimation of running pattern characteristics related to running injury risks from a real-environment running motion,” SPRINZ, 2015
- [25] NSMI, “Poor technique - Causes of Sports Injuries,” 2021. [Online]. Available: <https://www.nsni.org.uk/articles/causes-sports-injuries/poor-technique.html>
- [26] B. F. Loaiza Trejos, D. E. Acuña Ballen, and J. E. Martínez Baquero, “Design and implementation of prototype automated system for collection, storage and monitoring of some physicochemical characteristics of rainwater at home,” in Proc. 22nd LACCEI Int. Multi-Conf. for Engineering, Education, and Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0, San Jose, Costa Rica, Jul. 17–19, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.296>
- [27] T. M. N. U. Akhund, W. B. Jyoti, M. A. B. Siddik, N. T. Newaz, S. K. A. Al Wahid, and M. Mesbahuddin Sarker, “IoT based low-cost robotic agent design for disabled and Covid-19 virus affected people,” in Proc. World Conf. Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WS4 2020), 2020, pp. 23–26. doi: [10.1109/WorldS450073.2020.9210389](https://doi.org/10.1109/WorldS450073.2020.9210389).
- [28] A. Apaza-Pinto, J. Esquicha-Tejada, P. Lopez-Casaperalta, and J. Sulla-Torres, “Supervised Machine Learning Techniques for the Prediction of the State of Charge of Batteries in Photovoltaic Systems in the Mining Sector,” IEEE Access, vol. 10, pp. 134307–134317, 2022, DOI: [10.1109/ACCESS.2022.3225406](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3225406)
- [29] K.-Y. Chun, S. Seo, and C.-S. Han, “A wearable all-gel multimodal cutaneous sensor enabling simultaneous single-site monitoring of cardiac-

- related biophysical signals," Advanced Materials, vol. 34, no. 16, Art. no. 2110082, 2022. doi: [10.1002/adma.202110082](https://doi.org/10.1002/adma.202110082)
- [30] Zhang, S., Shan, G., Wang, W., & Li, L. (2022). A Wearable-Sensor System with AI Technology for Real-Time Biomechanical Feedback Training in Hammer Throw. Sensors, 22(1), 328
- [31] Perch.fit. (2025). The Psychology of Real-Time Feedback: Why Athletes Respond Faster to Live Data. <https://www.perch.fit/blog/the-psychology-of-real-time-feedback>