

# Validación de un dispositivo Wireless para el control de variables cinemáticas en el rendimiento deportivo

## Validation of a Wireless Device for the Control of Kinematic Variables in Sports Performance

Samuel José Gaviria<sup>1</sup>  
Andrés Felipe Ramirez<sup>2</sup>  
León Mauricio Rivera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Educación, Universidad San Buenaventura; Medellín, Colombia.  
Email: samuel.gaviria@usbmed.edu.co.

<sup>2</sup>Facultad de Educación, Universidad San Buenaventura; Medellín, Colombia.  
Email: andres.ramirez@usbmed.edu.co.

<sup>3</sup>Facultad de Ingenierías, Universidad San Buenaventura; Medellín, Colombia.  
Email: leon.1987.lmrm@gmail.com

 OPEN ACCESS



### Copyright:

©2021. La revista *Ingenierías USBmed* proporciona acceso abierto a todos sus contenidos bajo los términos de la licencia creative commons Atribución no comercial SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

**Tipo de artículo:** Investigación.

**Recibido:** 02-07-2020.

**Revisado:** 06-04-2021.

**Aprobado:** 06-04-2021.

**Doi:** 10.21500/20275846.4806

### Referenciar así:

S. J. Gaviria, A. F. Ramirez y L. M. Rivera, "Validación de un dispositivo Wireless para el control de variables cinemáticas en el rendimiento deportivo," *Ingenierías USBMed*, vol. 12, no. 1, pp. 25-33, 2021.

### Disponibilidad de datos:

todos los datos relevantes están dentro del artículo, así como los archivos de soporte de información.

### Conflicto de intereses:

los autores han declarado que no hay conflicto de intereses.

**Editor:** Andrés Felipe Hernández.  
Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.

**Resumen.** El objetivo del presente estudio fue validar un dispositivo Wireless de bajo costo compuesto por acelerómetros, para el censo de la aceleración en actividades deportivas. El estudio fue no experimental, descriptivo, correlativo, con participación de 5 deportistas de manera voluntaria. Para la validación se usó un transductor lineal (T-Force System Ergotech, Murcia, España) y análisis de videografía (SkillSpector versión 1.3.2). Participantes desarrollaron el press de banca plana en una maquina SMITH. El protocolo consistió en realizar una repetición de press de banca plana con una carga constante (18 kg). La recuperación entre cada repetición fue de 15 segundos. En total 5 sujetos desarrollaron 84 repeticiones. Los datos estuvieron caracterizados por una diferencia menor entre los valores de la media del dispositivo Wireless vs T-Force (0,18) en contraste con Wireless vs Videografía (0,46). Los resultados muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas en la aceleración de desplazamiento entre el dispositivo Wireless, transductor lineal y análisis de videografía; sin embargo, los niveles de correlación de Pearson que se reportaron manifestaron una asociación moderada ( $p < 0,05$ ) para las dos pruebas. El supuesto de independencia de los errores fue contrastado mediante la prueba de Durbin-Watson. Los resultados sugieren que, si bien no se presentaron altas asociaciones entre los dispositivos, el factor económico de la producción del dispositivo Wireless, lo hace una alternativa viable para el control y medición de la aceleración en la práctica deportiva.

**Palabras Clave.** Cinemática deportiva, Acelerómetros, transductores lineales, videografía, Open source, Unidades inerciales (IMU).

**Abstract.** The aim of the present study was to validate a low-cost Wireless device composed of accelerometers for the census of acceleration in sports activities. The study was non-experimental descriptive correlative, with the participation of 5 athletes on a voluntary basis. For validation, a linear transducer (T-Force System Ergotech, Murcia, Spain) and videography analysis (SkillSpector version 1.3.2) were used. Participants developed the flat bench press in a SMITH machine. The protocol consisted of a repetition of flat bench press with a constant load (18 kg). Recovery between repetition was 15 seconds. In total 5 subjects developed 84 repetitions. The data were characterized by a minor difference between the values of the mean of the Wireless vs T-Force device (0.18) in contrast to Wireless vs. Videography (0.46). The results show that there are no statistically significant differences in the acceleration of displacement between the Wireless device, linear transducer and videography analysis; however, the reported Pearson correlation levels showed a moderate association ( $p < 0.05$ ) for the two tests. The assumption of independence of the errors was proven by the Durbin-Watson test. The results suggest that, although there were no high associations between the devices, the economic component of the production of the Wireless device makes it a viable alternative for the control and measurement of acceleration in sports.

**Keywords.** Sports Kinematics, Accelerometers, Linear Transducers, Videography, Open Source, Inertial Units (IMU).

## I. Introducción

La constante evolución en el desempeño de atletas ha implicado una caracterización más profunda del rendimiento físico. Esta evolución ha llevado a la implementación de dispositivos tecnológicos para el control y censo de variables en el entrenamiento deportivo de tipo condicional (fuerza, resistencia, velocidad, coordinación), táctico, preventivo, cargas del entrenamiento entre otras: [1]-[6].

En términos generales, el uso de sistemas de cuantificación que permitan tener un control en el desarrollo del entrenamiento de alto nivel permite que la orientación de la planificación deportiva sea de mayor objetividad. En consecuencia, es gracias a componentes más especializados, usados en este desarrollo, que la toma de medidas se ha hecho más confiable. El problema pasó de ser la validez, fiabilidad o precisión del instrumento a su alto valor comercial y accesibilidad para el gremio deportivo [7].

El control del entrenamiento basado en la velocidad, a pesar de no ser una metodología novedosa [8], resulta ser, en la actualidad, una herramienta de alto valor y popularidad en el ámbito deportivo. La velocidad de ejecución de un gesto está directamente relacionada con la fuerza y el estado de fatiga del deportista [9]. Teniendo un control de la velocidad, es posible prescribir cargas de entrenamiento, predecir repeticiones máximas y definir zonas de intensidad de trabajo basadas en velocidad y no solo en la carga y volumen aplicado como regularmente se hace, además de disminuir el riesgo de lesiones por el desplazamiento de altas cargas. Por lo anterior, resulta de gran importancia tener, dentro de las variables a controlar en la planificación deportiva, la velocidad de ejecución.

Dentro de los dispositivos y técnicas populares para censar componentes cinemáticos como la velocidad y desplazamiento, se encuentran los transductores lineales y ópticos, videografía, plataformas con sensores de presión, acelerómetros entre otros [10]. Los transductores lineales [11] y ópticos de velocidad y posición son altamente confiables; sin embargo, su alto costo y condición lineal, que limita su aplicación solo para desplazamientos del mismo tipo, no permite análisis de movimientos diferentes a los lineales. La videografía resulta una técnica confiable y versátil en la captación de movimientos, tanto lineales como no lineales, pero el hecho de que sea necesario un software de apoyo para el análisis de datos aumenta sus costos; por otro lado, es necesario controlar el entorno donde se desarrollen las grabaciones para evitar errores de perspectiva por la ubicación de las cámaras [12]. Las plataformas de presión, altamente confiables y con entregas de datos en tiempo real, son una alternativa interesante; pero su adaptación, alto costo y desplazamiento de estas limita

su aplicación y toma de datos por fuera de escenarios de laboratorio [10].

El T-Force System Ergotech es un transductor lineal de alta precisión y popularidad en el control de entrenamientos. Dentro de sus aplicaciones principales está la de predecir valores máximos de carga a partir de la velocidad de desplazamiento en press de banca. Recientemente, ha sido utilizado como gold estándar en la validación de otros dispositivos similares [13].

Dada la gran cantidad de desarrollos tecnológicos que se han asociado al ámbito deportivo para dar respuestas a necesidades específicas del área, los acelerómetros se posicionan como una alternativa de alta popularidad para el censo de variables cinemáticas. [14] expusieron el uso de acelerómetros como una alternativa efectiva, precisa y económica, en comparación con los sistemas de posicionamiento global GPS, para el censo de la velocidad de desplazamiento. Por otro lado, Espinosa *et al.* [15], presentaron una revisión del uso de acelerómetros en diferentes campos como la industria y la academia además del contexto deportivo manifestando su portabilidad y adaptabilidad como ventaja en el desarrollo deportivo. Dentro de las ventajas posibles que se encuentran hoy en la evidencia para el uso de acelerómetros, es posible reconocer que, además de las ventajas en asequibilidad y entrega de información en tiempo real, está su portabilidad y poco invasivo sistema, lo que permite tener control de variables cinemáticas por entrenadores y deportistas en el día a día [1], [16]-[19].

En los escenarios reales de las acciones deportivas, es muy poco probable que un deportista realice una acción motriz consecutivamente de la misma manera, lo que hace más complejo la fiabilidad de dispositivos de control [13]; el hecho de que existan diferentes alternativas para el control de variables cinemáticas en el entrenamiento deportivo, sugiere la necesidad de conocer específicamente las características propias de cada alternativa, para el control de los parámetros medidos con el fin de identificar diferencias asociadas entre ellas [13].

Finalmente, el objetivo de esta investigación se centró en diseñar y validar un dispositivo Wireless de bajo costo, compuesto por un acelerómetro triaxial para cuantificar la aceleración en gestos deportivos. Con el desarrollo de este sistema se busca, a futuro, implementar un dispositivo Wireless que sirva de herramienta en la medición de variables cinemáticas, además, que permita ser adaptado a una red biofeedback donde se pueda tener información en la nube de otras variables propias del entrenamiento deportivo.

## II. Metodología

### A. Participantes

Cinco estudiantes de pregrado del programa de la Licenciatura en educación física y deporte de la Universi-

dad San Buenaventura sede Medellín ( $22.4 \pm 2.2$  años,  $172 \pm 3.3$  cm,  $71.4 \pm 6.3$  kg), voluntarios y aceptando un consentimiento informado previamente aprobado por el comité de bioética de la institución hicieron parte del estudio. Ninguno de los participantes presentó algún tipo de lesión osteomuscular al momento de la intervención y tenían al menos 2 años de experiencia en la práctica deportiva. El protocolo de intervención fue enviado y evaluado por el comité de bioética de la institución, en concordancia con la Declaración de Helsinki para investigaciones con personas voluntarias.

## B. Procedimiento

### 1) Arquitectura del Software

El desarrollo electrónico y de software, consistió en una arquitectura basada en tecnologías Open Source [20] y el uso de dispositivos de bajo costo y bajo consumo energético, que en la actualidad responden al concepto del uso de tecnologías disruptivas para la medición, entrenamiento, recuperación y el mejoramiento del rendimiento de los deportistas en formación temprana y de alto rendimiento [21].

El diseño, basado en la metodología usada por [22], (ver Figura 1), que consiste en un sistema de biofeedback para el monitoreo de las acciones en los atletas, proporciona valores sobre el rendimiento directamente al atleta y al entrenador y, a su vez, almacena la información generada en la nube para obtener un histórico automatizado que permita identificar la evolución del deportista.



Figura 1. Metodología de Biofeedback implementada [22]

### 2) Descripción de la arquitectura de hardware

Para la medición de la aceleración máxima fue implementada una arquitectura de hardware que permitiera el monitoreo de las acciones en tiempo real y a su vez, ser almacenadas en la nube. A continuación, se presenta la arquitectura de hardware del sistema de biofeedback planteado (Figura 2):

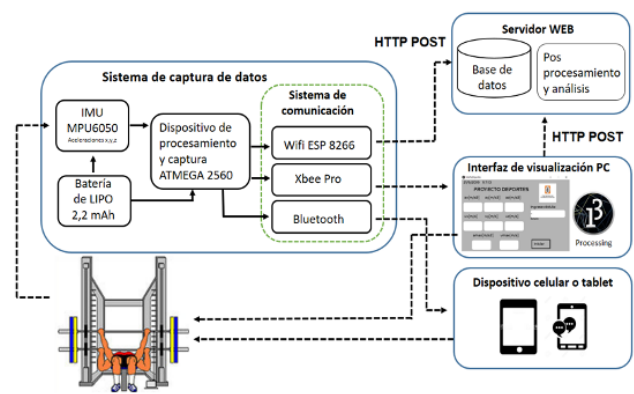


Figura 2. Arquitectura de hardware desarrollada para el sistema de biofeedback para medir la velocidad máxima del deportista. Fuente: Autor

De la arquitectura planteada se desprenden cuatro componentes principales. Estos son descritos a continuación:

### 3) Sistema de captura de datos

Este sistema cuenta con canales de sensores, procesamiento y comunicación de la información capturada. En el sistema de sensores se implementó una unidad inercial IMU MPU6050, que permite medir las aceleraciones realizadas por la ejecución de un deportista. La unidad inercial (IMU) cuenta con un acelerómetro que mide aceleraciones (gravidades) y un giróscopo que mide velocidades angulares (grados/s), de la que solo fueron usados los datos de aceleración y fue configurado para trabajar en el rango de  $\pm 4$  g o  $\pm 39.24$  m/s<sup>2</sup>. El censo de rotaciones y aceleraciones se da de manera triaxial (X, Y y Z). Por su voltaje de alimentación de 3.3Vdc, el tamaño reducido 1.7 cm  $\times$  3.3 cm y peso ultraligero, lo hace ideal para este desarrollo.

### 4) Sistema de procesamiento de datos

El sistema de procesamiento de datos cuenta con un microcontrolador ATMEGA2560 programado bajo la plataforma Arduino [23]. Este realiza dos tareas fundamentales: filtrado y calibración de la señal proveniente de la unidad inercial a través de una comunicación digital SPI y él envió de la señal procesada a los diferentes sistemas de comunicación, entregando los datos de aceleraciones, aceleraciones máxima y mínima obtenidos durante la ejecución del gesto.

### 5) Sistema de comunicación

El sistema de comunicación cuenta con tres dispositivos. Por un lado, la posibilidad de publicar directamente a la nube por medio del dispositivo wifi ESP8266, realizando peticiones HTTP POST al servidor web que almacenara la información generada por los deportistas. Otro módulo de comunicación implementado es el módulo Zigbee, que permite una comunicación directa a un computador o la conformación de una red

Zigbee. En un futuro, el módulo Zigbee permitirá la integración con otros dispositivos para medir diferentes variables en los deportistas, dado que este consiente la comunicación entre varios nodos y es posible configurar redes de distinta estructura, como estrella, árbol y malla. Por otro lado, el Xbee PRO-868 que está basado en el protocolo de comunicación ZigBee; el cual sigue el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas [24]. Este tipo de elementos permiten la comunicación de modo bidireccional en modos punto a punto y punto a multipunto, por lo que la interoperabilidad entre diferentes dispositivos es sencilla [25].

#### 6) Interfaz de visualización PC

Esta cuenta con una interfaz de visualización que procesa los datos de aceleraciones, entregando datos de: aceleración máxima ( $m/seg^2$ ) y aceleración mínima ( $m/seg^2$ ). Adicionalmente la información capturada es almacenada en un archivo CSV a modo de redundancia y también luego de finalizado el ejercicio la publicación en el servicio WEB por medio una petición HTTP POST.

#### 7) Servidor web

El servicio WEB es una herramienta de almacenamiento creada en un servicio web Apache y gestionado desde MySQL; el lenguaje de programación usado fue PHP y HTML. En la actualidad, la base de datos es devuelta en un archivo CSV y a futuro se espera realizar un portal de despliegue de información y gestión de información sobre el progreso de los deportistas.

#### 8) Protocolo para la captación de datos

Participantes desarrollaron el press de banca plana en una maquina SMITH. Inicialmente se desarrolló un calentamiento general con 5 minutos de trote controlado, movilidad articular y ejecuciones del press de banca plana con una masa de 10 kg. A continuación, participantes desarrollaron el protocolo que consistía en una repetición de press de banca plana con una carga constante (18 kg). La recuperación entre repetición fue de 15s. En total 5 sujetos desarrollaron 84 repeticiones.

Para la validación del dispositivo Wireless, se usó una cámara GoPro Hero 5 (30 FPS, Resolución 1080) y un transductor lineal (T-Force System Ergotech, Murcia, España). En la figura. 3 se muestra el esquemático del montaje de los equipos usados para validar el dispositivo Wireless. Para el cálculo de la aceleración por medio de videografía (cámara perpendicular al punto de ejecución del gesto), se usó un sistema de referencia tubular con cinco marcas con distancias conocidas, que permitieron convertir unidades de pixeles a metros. El software usado para el análisis de los videos fue el SkillSpector (versión 1.3.2). Para la edición de videos previo al análisis en el software, se usó el programa Mpeg Streamclick (8.1). La aceleración de la barra tomada fue la máxima durante el gesto completo del press de banca plana.

Para la obtención de datos por medio del transductor lineal, estos fueron tomados directamente del software propio del transductor. La aceleración de la barra tomada fue la máxima durante todo el gesto del press de banca plana.

Finalmente, el dispositivo Wireless fue sujetado a la barra y un receptor conectado al PC. La interfaz del dispositivo reporta valores máximos de las aceleraciones en los ejes X, Y y Z. Se tomó como referencia el eje Y para el reporte de valores máximos de aceleración y siguiente validación (Figura 3).

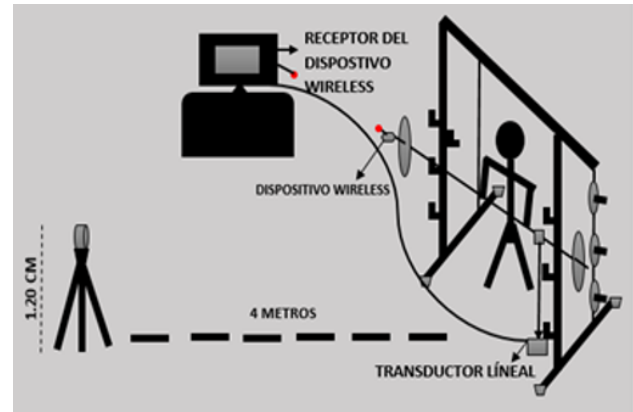


Figura 3. Esquemático de la captación y montaje de la cámara, transductor lineal y dispositivo Wireless.

Fuente: Autor

### III. Resultados

Para el análisis de resultados se desarrollaron pruebas de normalidad para cada sujeto y dispositivo utilizado.

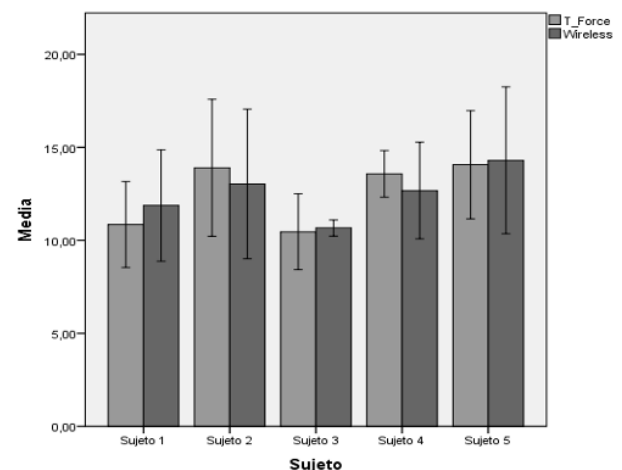


Figura 4. Medias y desviaciones estándar. T Force y Wireless para la variable aceleración  $m/s^2$ . Fuente: Autor

Respecto a las medias de cada sujeto, partiendo del número de intentos realizados, se observan diferencias de menos de 1 segundo entre las medias del Wireless y T forcé (Figura 4). Por otro lado, se observa que, para

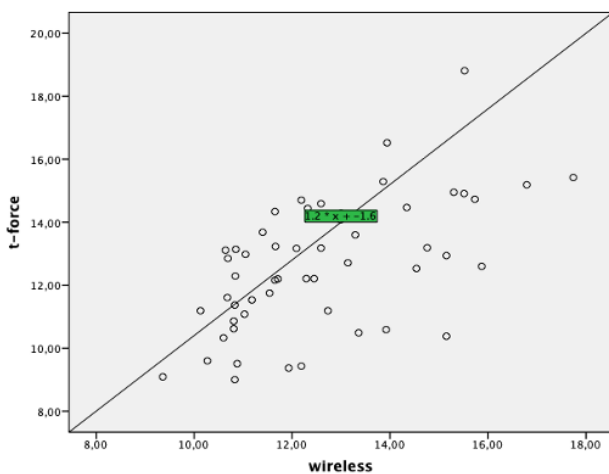


**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos (*M*: media, *DS*: desviación estándar y *CV*: coeficiente de variación) de la aceleración registrada por el dispositivo Wireless y Transductor Lineal. Fuente: Autor

| Sujeto | Intentos | Dispositivo | Aceleración (m/s <sup>2</sup> ) |           |           |
|--------|----------|-------------|---------------------------------|-----------|-----------|
|        |          |             | <i>M</i>                        | <i>DS</i> | <i>CV</i> |
| 1      | 15       | Wireless    | 11.9                            | 1.4       | 12.6      |
|        |          | T Force     | 10.9                            | 1.1       | 10.6      |
| 2      | 16       | Wireless    | 13                              | 2.0       | 14.4      |
|        |          | T Force     | 13.9                            | 1.8       | 13.2      |
| 3      | 6        | Wireless    | 10.7                            | 0.2       | 1.97      |
|        |          | T Force     | 10.5                            | 1.01      | 9.66      |
| 4      | 7        | Wireless    | 12.7                            | 1.3       | 10.2      |
|        |          | T Force     | 13.6                            | 0.6       | 4.57      |
| 5      | 9        | Wireless    | 14.3                            | 2.0       | 13.8      |
|        |          | T Force     | 14.1                            | 1.4       | 10.3      |

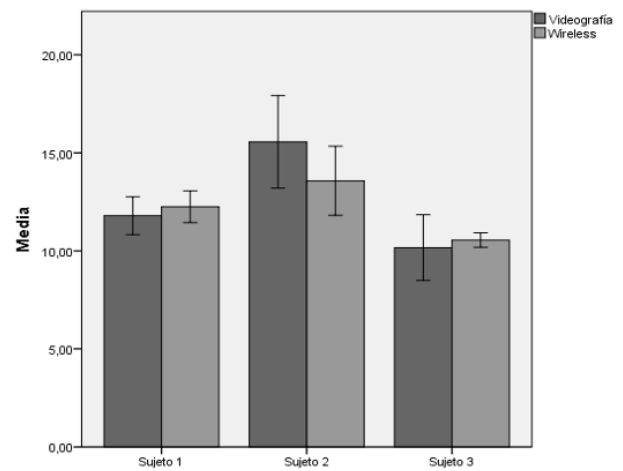
el coeficiente de variación calculado, todos los sujetos presentan valores por debajo del 20%, lo que representa un comportamiento homogéneo de las capturas (Tabla 1) [26].

En promedio, valores de aceleración censados por el dispositivo Wireless y T Force no presentaron diferencias significativas. Además, no exhibieron efectos de tamaño representativos a excepción del sujeto 4 que presentó un efecto de tamaño moderado. Respecto a la independencia de los errores, evaluado a través de Durbin Watson, se encuentra que no existe una relación entre sujetos; esto es, las mediciones que se desarrollaron no tienen una dependencia respecto a los sujetos evaluados (Tabla 2). Para el análisis de correlación entre ambos dispositivos (Wireless-T force) (Figura 5), con el coeficiente de correlación de Pearson se tiene un valor de 0.58 lo que nos sugiere un nivel de asociación moderada [26].



**Figura 5.** Grafica de distribución coeficiente de correlación Pearson, variables Grafica Wireless y T- Force. Fuente: Autor

Respecto a las medias de cada sujeto partiendo del número de intentos realizados (Figura 6), se observa que para el dispositivo Wireless y videografía, los sujetos 1 y 3 presentaron diferencias entre medias de menos de 1 segundo, y para el sujeto 2 la diferencia de medias fue cercana a 2 segundos (Tabla 3). Por otro lado, se observa que, para los sujetos 1 y 3, el coeficiente de variación calculado, está por debajo del 20%; el sujeto 2, por el contrario, presenta valores superiores al 20% [26].



**Figura 6.** Medias y desviaciones estándar. Videografía y Wireless para la variable aceleración m/s<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Además, se encontró que la diferencia entre las medias del dispositivo Wireless y el T-Force fue menor (0.18) comparado con la de Wireless vs Videografía (0.42).

En promedio, valores de aceleración censados por el dispositivo Wireless y videografía no presentaron diferencias significativas. Además, no exhibieron efectos de tamaño representativos (Tabla 4). Respecto a la independencia de los errores, evaluado a través de Durbin Watson, se encuentra que no existe una relación entre sujetos; esto es, las mediciones que se desarrollaron no tienen una dependencia respecto a los sujetos evalua-

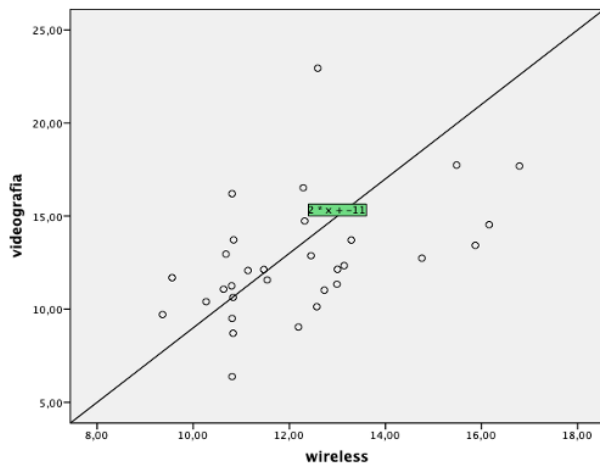
**Tabla 2.** Estadístico de Durbin-Watson (D-W), con los datos del T Force como variable criterio y los del dispositivo Wireless como variable predictora, análisis para diferencias de muestras pareadas y efecto de tamaño de cada sujeto.  $r$ : Efecto de tamaño. Fuente: Autor

| Sujeto | Intentos | D-W | Intervalo | $t$  | gl | $r$ | Pearson | Sig |
|--------|----------|-----|-----------|------|----|-----|---------|-----|
| 1      | 15       | 2.1 | [1.5,1.6] | -2.1 | 14 | 0.5 | 0.58    | 0.1 |
| 2      | 16       |     |           | 2.0  | 15 | 0.5 |         | 0.1 |
| 3      | 6        |     |           | -0.5 | 5  | 0.2 |         | 0.6 |
| 4      | 7        |     |           | 1.6  | 6  | 0.5 |         | 0.2 |
| 5      | 9        |     |           | -0.4 | 8  | 0.1 |         | 0.7 |

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos ( $M$ : media,  $DS$ : desviación estándar y  $CV$ : coeficiente de variación) de la aceleración registrada por el dispositivo Wireless y Videografía. Fuente: Autor

| Sujeto | Intentos | Dispositivo | Aceleración (m/s <sup>2</sup> ) |      |      |
|--------|----------|-------------|---------------------------------|------|------|
|        |          |             | $M$                             | $DS$ | $CV$ |
| 1      | 13       | Wireless    | 12.2                            | 1.3  | 10.9 |
|        |          | Videografía | 11.8                            | 1.6  | 13.5 |
| 2      | 10       | Wireless    | 13.6                            | 2.5  | 18.1 |
|        |          | Videografía | 15.6                            | 3.3  | 21.2 |
| 3      | 8        | Wireless    | 10.5                            | 0.4  | 4.2  |
|        |          | Videografía | 10.2                            | 2.0  | 19.7 |

dos. Para el análisis de correlación de Pearson entre ambos dispositivos (Wireless-Videografía) (Figura 7) se tiene un valor de 0.47, lo que nos sugiere un nivel de asociación moderada entre las dos variables [26].



**Figura 7.** Grafica de distribución coeficiente de correlación Pearson, variables Wireless y Videografía.

Fuente: Autor

#### IV. Discusión

El objetivo de esta investigación se centró en diseñar un dispositivo Wireless de bajo costo constituido por acelerómetros y validarlo por medio de dos Gold estándar; un transductor lineal y videografía. La evidencia manifiesta que existen diferentes alternativas para la medición y control de las variables propias del entrenamiento deportivo, entre ellas la aceleración. Sin

embargo, alternativas que permitan dar respuesta a estas necesidades en situaciones reales de entrenamiento y competencia, no se registran en la literatura con la misma disponibilidad.

Para el análisis de las variables, se usó un método comparativo entre el prototipo diseñado y dos Gold estándar (T Force y Videografía). Se utilizó un factor de auto correlación para el control de errores generados por la dependencia de los datos para un mismo sujeto en continuos ensayos, en el que se observó que no se presentó dependencia de los datos respecto a los sujetos [13].

El dispositivo Wireless presentó menores valores de media respecto al T Force y el análisis de Videografía, estos valores no concuerdan con lo expuesto por Gómez *et al.* [13], en donde se obtuvieron mayores valores promedio y de dispersión, para dispositivos compuestos por acelerómetros.

Bajo esta lógica metodológica, existe evidencia que manifiesta el uso de métodos correlativos entre Gold estándar y prototipos para el control de las variables del entrenamiento. Callaway *et al.* [27], validaron un sistema compuesto por acelerómetros para el control de la técnica en natación a través de videografía. Los autores concluyen que el uso de otro tipo de tecnologías, particularmente acelerómetros, se convierten en una herramienta útil para el control de los perfiles de aceleración en nadadores. La evidencia nos aporta otros estudios que utilizaron el método de correlación, para validar herramientas que permitan el control y medición de las variables del entrenamiento. Staunton *et al.* [28], obtuvieron como principal hallazgo de su in-

**Tabla 4.** Estadístico de Durbin-Watson (D-W), con los datos de Videografía como variable criterio y los del dispositivo Wireless como variable predictora, análisis para diferencias de muestras pareadas y efecto de tamaño de cada sujeto.  $r$ : Efecto de tamaño. Fuente: Autor

| Sujeto | Intentos | D-W | Intervalo | $t$  | gl | $r$ | Pearson | Sig |
|--------|----------|-----|-----------|------|----|-----|---------|-----|
| 1      | 13       | 2.1 | [1.4,1.5] | -1.1 | 12 | 0.3 | 0.46    | 0.3 |
| 2      | 10       |     |           | 1.6  | 9  | 0.5 |         | 0.1 |
| 3      | 8        |     |           | -0.5 | 7  | 0.2 |         | 0.6 |

investigación que el uso de dispositivos de acelerómetros permite definir los patrones específicos de movimiento en el baloncesto.

La comunidad científica tiene a la mano herramientas disponibles para el desarrollo didáctico de cada uno de los procesos del entrenamiento deportivo, pero la gran mayoría de equipos y métodos existentes en la actualidad son en escenario de laboratorio; es acá donde cobran relevancia los resultados de la presente investigación, ya que un deportista rara vez es capaz de reproducir un gesto motor con una gran semejanza [13]. Por tanto, poder censar en tiempo real las variables específicas de cada disciplina deportiva, toma gran significancia para los entrenadores o mostrarse como una posible solución a sus necesidades puntuales; Ganzvles *et al.* [29] concluyen dentro de su estudio que el uso de los acelerómetros tri-axiales suponen una positiva herramienta para monitorear los comportamientos de cada uno de los deportistas.

Resultados de los tres dispositivos mostraron que las diferencias entren ellos corresponden a los elementos tecnológicos y no propiamente a lo humano (basado en la prueba Durbin-Watson), Kim y Nussbaum [30], en su estudio, reportaron que el error tecnológico tuvo mayor incidencia en los resultados finales, comparado con el humano. Según los valores del coeficiente de correlación, Videografía-Wireless presentó un valor menor al de T Force-Wireless, Robert-Lachaine *et al.* [31], en su estudio reportaron que la mayoría de errores asociados a la videografía se deben principalmente a los protocolos que se usan en la calibración. Esto es, alineación de la cámara con el elemento a analizar, ubicación de los puntos de referencia para la transformación de pixeles a metros, fotogramas por segundo, entre otras.

El presente estudio utilizó transductores lineales y videografía como referente, al ser dispositivos no invasivos manifiestan un error asociado a esta condición [31]. El dispositivo Wireless presenta algunas otras limitaciones que pueden ser esperadas debido a su bajo costo de producción; entre estas, la principal es el sistema de fijación.

## V. Conclusiones

Si bien no se presentaron altas correlaciones, el factor económico de la producción del dispositivo Wireless lo

hace una alternativa viable para el control y medición de la aceleración en la práctica deportiva.

La relación entre la electrónica y las actividades deportivas suponen avances significativos dentro de las metodologías de entrenamiento disponibles para los entrenadores, permitiendo de esta forma, un control más preciso y en tiempo real de las diferentes variables comprometidas en las acciones didácticas de la comunidad deportiva.

Dentro del diseño planteado para el dispositivo, fueron incluidas tecnologías que permitirán a futuro plantear nuevas métricas de desempeño de deportistas; además de la posibilidad de integrarlas a través de redes Wireless de Sensor Networks o WSN con publicación de resultados en la nube, generando un escenario con los beneficios propios de la virtualidad y el internet de las cosas.

## Referencias

- [1] D. Raper, J. Witchalls, E. Philips, E. Knight, M. Drew y G. Waddington, "Journal of science and medicine in sport," vol. 21, n.º 1, págs. 84-88, ene. de 2018.
- [2] M. Karsten, G. Ribeiro, M. Esquivel y D. Matte, "The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis," *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, vol. 34, págs. 92-104, 2018.
- [3] G. Koutras, M. Bernard, I. Terzidis, P. Papadopoulos, A. Georgoulis y E. Pappas, "Comparison of knee flexion isokinetic deficits between seated and prone positions after ACL reconstruction with hamstrings graft: Implications for rehabilitation and return to sports decisions," *Journal of science and medicine in sport*, vol. 19, n.º 7, págs. 559-562, 2016.
- [4] N. Sánchez Aldana, J. Velásquez Gómez, J. Villa Bedoya y J. M. Marín Correa, "SpeedMed: device for measuring velocity in track sports," *Revista Ingeniería Biomédica*, n.º 1, págs. 33-37, mayo de 2007.
- [5] V. Grigore, G. Mitache, R. Predoiu y R. Roaca, "Characteristic of instrumental movement-eye

- hand coordination in sports,” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 33, págs. 193-197, 2012.
- [6] H.-T. Chen, C.-L. Chou, T.-S. Fu, S.-Y. Lee y B.-S. Lin, “Recognizing tactic patterns in broadcast basketball video using player trajectory,” *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 23, n.º 6, págs. 932-947, 2012.
- [7] B. B. Safont-Tria y X. D. Blas Foix, “Validez de un nuevo dispositivo para medir la velocidad de desplazamiento de un press de banca utilizando Chronojump,” [http://www.efdeportes.com/Revista Digital-Buenos Aires](http://www.efdeportes.com/Revista-Digital-Buenos-Aires), vol. 14, n.º 141, feb. de 2010.
- [8] O. Walker, “Velocity based training is simply a method of training which uses a piece of technology to track the movement speed of the exercise,” *Science for Sport*, vol. 1, ago. de 2017.
- [9] H. Dorrell, J. Moore, M. Smith y T. Gee, “Validity and reliability of a linear positional transducer across commonly practised resistance training exercise,” *Journal of sports sciences*, vol. 37, n.º 1, págs. 67-73, 2019.
- [10] G. Peña García-Orea, J. R. Heredia Elvar, J. Aguilera Campillos, A. Arenas Dalla e Y. C. Pérez-Caballero, “Guillermo Peña García-Orea, Juan R. Heredia Elvar, Julián Aguilera Campillos, Aurelio Arenas Dalla y Carlos Pérez-Caballero,” *International Journal of Physical Exercise and Health Science for Trainers*, vol. 1, n.º 2, 2017.
- [11] J. J. González-Badillo y L. Sánchez-Medina, “Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training,” *International journal of sports medicine*, vol. 31, n.º 5, págs. 347-352, 2010.
- [12] C. Balsalobre-Fernández, D. Marchante, M. Muñoz-López y S. Jiménez, “Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1-RM on the bench press exercise,” *Journal of sports sciences*, vol. 36, n.º 1, págs. 64-70, 2018.
- [13] P. T. Gómez Piriz, M. E. Trigo Sánchez, D. Cabello Manrique y E. Puga González, “Confiabilidad entre instrumentos (T-Force® y Myotest®) en la valoración de la fuerza,” *Revista internacional de ciencias del deporte*, vol. 8, n.º 27, ene. de 2012.
- [14] J. Neville, A. Wixted, D. Rowlands y D. James, “Accelerometers: An underutilized resource in sports monitoring,” de *2010 Sixth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, Brisbane, 2010.
- [15] H. G. Espinosa, J. Lee y D. A. James, “The inertial sensor: a base platform for wider adoption in sports science applications,” *Journal of Fitness Research*, vol. 4, n.º 1, págs. 13-20, 2015.
- [16] A. Stamm, “Investigating Stroke Length and Symmetry in Freestyle Swimming Using Inertial Sensors,” *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, vol. 2, n.º 6, 2018.
- [17] Y.-S. Lu, H.-W. Wang y S.-H. Liu, “An integrated accelerometer for dynamic motion systems,” *Measurement*, vol. 125, págs. 471-475, sep. de 2018.
- [18] T. Eggers, T. Massard, P. Clothier y R. Lovell, “Measuring Vertical Stiffness in Sport With Accelerometers: Exercise Caution!,” *Journal of strength and conditioning research*, vol. 32, n.º 7, págs. 1919-1922, 2018.
- [19] C. J. Kenneally-Dabrowski, B. G. Serpell y W. Spratford, “Are accelerometers a valid tool for measuring overground sprinting symmetry?” *International Journal of Sports Science y Coaching*, vol. 13, n.º 2, págs. 270-277, 2018.
- [20] J. Scapa y Altair, “Innovation Intelligence,” 12 marzo 2019. [Online]. Available: <https://investor.altair.com/static-files/42b96ff4-a5dc-4998-ba2d-99ec907fa465>.
- [21] K. Havens, S. Cohen, K. Pratt y S. Sigwar, “Clinical Biomechanics Accelerations from wearable accelerometers reflect knee loading during running after anterior cruciate ligament reconstruction,” *Clinical Biomechanics*, vol. 58, págs. 57-61, oct. de 2018.
- [22] A. Kos, V. Milutinović y A. Umek, “Challenges in wireless communication for connected sensors and wearable devices used in sport biofeedback applications,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 92, págs. 582-592, mar. de 2019.
- [23] Aprendiendo Arduino, “Arduino y LoRaWAN,” 7 marzo 2018. [Online]. Available: <https://www.aprendiendoarduino.com/2018/03/07/arduino-y-lorawan/>.
- [24] W. Higgins, “A Comparison of Complementary and Kalman Filtering,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 11, n.º 3, págs. 321-325, mayo de 1975.
- [25] A. B. Saravia, F. Tagliaferri, S. Gregori Fiadino y A. A. Airoidi, Diseño e implementación de sistemas embebidos con PIC. Tomo II: Aplicaciones Avanzadas y Sistemas de control, vol. II, Buenos Aires, McElectronics, 2013.
- [26] M. Á. Martínez-González, A. Sánchez-Villegas, E. Toledo Atucha y J. Faulín Fajardo, Edits., Bioestadística amigable, Elsevier, 2009.
- [27] A. Callaway, J. Cobb e I. Jones, “A comparison of video of accelerometer based approaches applied to performance monitoring in swimming,” *Internarional journal of Sport Science y Coaching*, vol. 4, n.º 1, págs. 139-153, mar. de 2019.
- [28] C. Staunton, D. Wundersitz, B. Gordon y M. Kingsley, “Construct Validity of Accelerometry-



- Derived Force to Quantify Basketball Movement Patterns,” *International journal of sports medicine*, vol. 38, n.º 14, págs. 1090-1096, 2017.
- [29] S. Ganzevles, R. Vullings, P. Jan Beek, H. Daanen y M. Truijens, “Using Tri-Axial Accelerometry in Daily Elite Swim Training Practice,” *Sensor*, vol. 17, n.º 5, 2017.
- [30] S. Kim y M. Nussbaum, “Performance evaluation of a wearable inertial motion capture system for capturing physical exposures during manual material handling tasks,” *Ergonomics*, vol. 56, n.º 2, págs. 314-326, dic. de 2012.
- [31] X. R.-L. H. Mecheri, A. Muller, C. Larue y A. Plamondon, “Validation of a low-cost inertial motion capture system for whole-body motion analysis,” *Journal of Biomechanics*, vol. 99, enero de 2020.