

**UNIVERSIDAD NACIONAL
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MOVIMIENTO HUMANO
Y CALIDAD DE VIDA
ESCUELA DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTES
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO UNA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO UCR
DOCTORADO EN CIENCIAS DEL MOVIMIENTO HUMANO**

**DISEÑO, FABRICACIÓN, CONCORDANCIA Y
CONFIABILIDAD DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO
PARA EL CONTROL DE INTERVALOS EN EL
ENTRENAMIENTO FÍSICO**

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Doctorado en Ciencias del
Movimiento Humano para optar por el grado de Doctorado Académico en Ciencias del
Movimiento Humano

RANDALL GUTIÉRREZ VARGAS

Campus Presbítero Benjamín Núñez
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Costa Rica

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas las personas en el planeta que aspiran a ver algún día este mundo lleno de justicia, paz, tolerancia e igualdad, y que desde sus roles sociales luchan día a día para que todos los ciudadanos tengan las mismas oportunidades y condiciones básicas para desarrollarse plenamente, y tener así una calidad de vida digna de un Ser Humano.

Agradecimientos

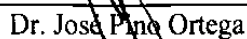
Primero que todo a Dios por llenarme de bendiciones en mi vida para permitirme estar donde estoy. A mis padres, Ana Lucía Vargas Vargas y Juan Ramón Gutiérrez Araya, por darme también todas las posibilidades para desarrollarme como ser humano y profesional, con un gran esfuerzo y sacrificio por parte de ellos. A los integrantes de mi comité asesor, Dr. Jorge Salas Cabrera y Dr. Braulio Sánchez Ureña por su guía y apoyo. Pero especialmente quiero agradecer al Dr. José Pino Ortega, tutor de esta tesis, por su apoyo, compromiso, guía y paciencia, pero especialmente por habernos mostrado la luz y la salida del túnel del subdesarrollo tecnológico, y enseñarnos que podemos soñar y saber que podemos tocar las estrellas si nos lo proponemos. También deseo agradecer a mis colegas y compañeros de luchas en CIDISAD, al Dr. Daniel Rojas Valverde y al Máster Alexis Ugalde Ramírez por el apoyo que me brindaron en todo este proceso del doctorado, y principalmente en la recolección y análisis de los datos generados. A la M. Sc. Ana Rocío Ulloa Sandí por su acompañamiento y colaboración especialmente durante las pruebas y la recolección de datos, y por recibir la estafeta para continuar con la línea de investigación planteando el proceso para desarrollar el prototipo 2. Por último, un agradecimiento a mis profesores y compañeros de la promoción doctoral, por todas las horas que compartimos y que fueron la base para concluir con este proyecto.

Esta Tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Doctorado en Ciencias del Movimiento Humano de la Universidad de Costa Rica y de la Universidad Nacional de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Doctorado Académico en Ciencias del Movimiento Humano.



Dr. Pietro Scaglioni Solano

Representante de la Decana del Sistema de Estudios de Posgrado, UCR



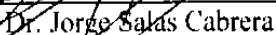
Dr. José Pino Ortega

Director de tesis



Dr. Braulio Sánchez Ureña

Asesor



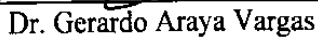
Dr. Jorge Salas Cabrera

Asesor



Dra. Damaris Castro García

Representante Consejo SEPUNA



Dr. Gerardo Araya Vargas

Representante de la Coordinadora del Programa de Doctorado en Ciencias del Movimiento Humano UCR



Randall Gutiérrez Vargas

Estudiante

Tabla de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	iii
Miembros Tribunal Examinador	iv
Tabla de contenidos	v
Resumen	vii
Abstract	viii
Listado de tablas	iv
Listado de figuras	x
Listado de abreviaturas	xi
Descriptores	xii
Capítulo I INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema	1
Justificación	3
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Capítulo II: MARCO TEÓRICO	8
La tecnología en el desarrollo humano	8
Definición de tecnología	8
La tecnología y su impacto en el desarrollo humano	10
Acceso y evolución de la tecnología en los países en vías de desarrollo	11
Conceptos y definiciones sobre electrónica e informática	13
<i>Tipos de Corriente Eléctrica</i>	15
<i>Circuitos eléctricos</i>	16
<i>Componentes básicos de un circuito eléctrico</i>	16
<i>Diseño y confección de un circuito eléctrico</i>	17
<i>Circuitos electrónicos digitales</i>	18
<i>Programación de las computadoras</i>	20
<i>Lenguajes de programación</i>	20
<i>Desarrollo de prototipos</i>	21
<i>Sistemas y tecnologías de libre acceso</i>	22
La tecnología en el movimiento humano y el deporte	25
<i>Definición de movimiento humano</i>	25
<i>Aplicaciones de la tecnología en el movimiento humano</i>	26
<i>Diferentes sistemas de medición en el movimiento humano</i>	27
Fuerza	27
Potencia	29
Agilidad	30

Velocidad	32
Antropométricas	33
Carga interna: variables fisiológicas y bioquímicas	34
Cargas físicas externas: análisis de movimiento	36
Mediciones tácticas	37
La medición del tiempo en el entrenamiento físico por medio de tecnologías	39
<i>Medición a partir de la distancia</i>	39
<i>Medición a partir del tiempo</i>	40
<i>Medición a partir de acelerómetros y giroscopios</i>	41
<i>Medición a partir de filmación</i>	43
<i>Medición a partir de fotoceldas</i>	44
Confiabilidad y concordancia de instrumentos científicos	44
Capítulo III: METODOLOGÍA	47
Tipo y diseño de estudio	47
Participantes	47
Instrumentos de medición	47
Procedimientos	48
Capítulo IV: RESULTADOS	54
Capítulo V: DISCUSIÓN	64
Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
Referencias	79
Anexos	102
Anexo 1: Código fuente en lenguaje C++	103
Anexo 2: Certificación de la revisión filológica	108

RESUMEN

El avance tecnológico en el área deportiva es evidente. Se requiere que los profesionales en Ciencias del Movimiento Humano aprendan cómo utilizar y aprovechar las nuevas tecnologías. Sin embargo, el costo para adquirir estos nuevos instrumentos con el propósito de optimizar sus labores es alto y prohibitivo. Por esa razón hay movimientos de profesionales a nivel mundial que se han planteado la meta de colaborar para que la nueva tecnología sea accesible para todos los seres humanos. Ellos han comenzado a desarrollar opciones de hardware y software libre que permiten que las personas comunes puedan solucionar algunas de sus necesidades siendo ellos mismos los que diseñen y construyan sus propios instrumentos, a bajo costo. El propósito de esta tesis fue recorrer la ruta para diseñar, fabricar, validar y determinar la confiabilidad de un prototipo de un dispositivo electrónico que mida intervalos durante el entrenamiento físico (Prototipo 1), y para ello utilizar materiales de reciclaje, baratos, con software y hardware libre. El dispositivo diseñado cuenta con dos sensores infrarrojos inalámbricos para iniciar y detener el cronómetro. Los sensores se complementaron con una unidad receptora que recibía las señales de los sensores por medio del protocolo de comunicación de radio-frecuencia. Se llevaron a cabo pruebas de concordancia comparando el Prototipo 1 con dos equipos comerciales de medición de intervalos, uno inalámbrico y el otro alámbrico que contaban con dos sensores de medición y una unidad receptora, similar al Prototipo 1; y una prueba de confiabilidad en donde se compararon los resultados en dos mediciones distintas del mismo Prototipo 1. Para la concordancia se realizaron pruebas comparativas entre los tres sistemas en intervalos aproximadamente 2, 5 y 12 segundos realizando 35 mediciones por cada intervalo. Para la prueba de confiabilidad se utilizaron intervalos exactos de 1.5, 6 y 15 segundos realizando 35 mediciones por cada intervalo. Todas las pruebas se realizaron bajo techo en un ambiente controlado. También se realizó una prueba para determinar la distancia máxima de transmisión de los sensores a la unidad al aire libre. La prueba de concordancia mostró confiabilidad casi perfecta con un Coeficiente Intraclase (ICC) en un rango entre 0.88-0.99. Igualmente, en la correlación de Pearson se muestra una asociación muy alta entre los tres sistemas que oscila entre 0.88 y 0.99, lo cual respalda los resultados del ICC, y en el gráfico de Bland-Altman se muestra que la mayoría de los datos están dentro de los límites de concordancia. Con respecto a la prueba de confiabilidad, muestra un resultado casi perfecto (ICC = 0.91-0.94), al igual que la correlación de Pearson que muestra una asociación muy alta que oscila entre 0.81 a 0.95. El gráfico Bland-Altman respalda los datos anteriores al observarse que la mayoría se encuentran entre los límites de concordancia. Se concluye que el Prototipo 1 es concordante con dos sistemas comerciales, y que sus mediciones son confiables. Además, se determinó que el Prototipo 1 puede transmitir información al menos 300 metros en línea recta, superficie plana y sin obstáculos.

ABSTRACT

The technological advance in the sports area is evident. Professionals in Human Movement Sciences are required to learn how to use and take advantage of new technologies. However, the cost to acquire these new instruments in order to optimize their work is high and prohibitive. For this reason, there are professional movements worldwide that have set the goal of collaborating to make new technology accessible to all human beings. They have begun to develop free hardware and software options that allow ordinary people to solve some of their needs by designing and building their own instruments, at low cost. The purpose of this thesis was to follow the route to design, manufacture, validate and determine the reliability of a prototype of an electronic device that measures intervals during physical training (Prototype 1), and to do so use cheap, recycling materials, with software and free hardware. The designed device had two wireless infrared sensors to start and stop the stopwatch. The sensors were complemented by a receiving unit that received the signals from the sensors through the radio-frequency communication protocol. Agreement tests were carried out comparing Prototype 1 with two commercial interval measurement devices, one wireless and the other wired, which had two measurement sensors and a receiving unit, similar to Prototype 1; and a reliability test where the results were compared in two different measurements of the same Prototype 1. For agreement, comparative tests were carried out between the three systems at intervals of approximately 2, 5 and 12 seconds, performing 35 measurements for each interval. For the reliability test, exact intervals of 1.5, 6 and 15 seconds were used, making 35 measurements for each interval. All tests were performed indoors in a controlled environment. A test was also performed to determine the maximum transmission distance from the sensors to the receiving unit. The agreement test showed almost perfect reliability (ICC = 0.88-0.99). Likewise, the Pearson correlation shows a very high association between the three systems that ranges between 0.88 and 0.99, which supports the ICC results, and the Bland-Altman graph shows that most of the data are within of the limits of agreement. Regarding the reliability test, it shows an almost perfect result (ICC = 0.91-0.94), as does the Pearson correlation that shows a very high association ranging between 0.81 to 0.95. The Bland-Altman plot supports the previous data by observing that most of them are within the limits of agreement. It is concluded that Prototype 1 is consistent with two commercial systems, and that its measurements are reliable. In addition, it was determined that it can transmit information at least 300 meters in a straight line, on a flat surface and without obstacles.

Listado de tablas

Tabla 1	57
Tabla 2	58
Tabla 3	59
Tabla 4	59
Tabla 5	60
Tabla 6	61
Tabla 7	62
Tabla 8	62

Lista de figuras

Figura 1	58
Figura 2	60
Figura 3	61
Figura 4	63

Listado de abreviaturas

RM: Repetición Máxima.
GPS: Sistema de posicionamiento global.
RAE: Diccionario de la Real Academia Española.
ISDII: Interaction Design Institute Ivrea.
DEXA: Absorciometría dual de rayos X.
MARG: Sensores de medición de velocidad angular y gravedad.
IMU: Unidades de medición inercial.
GNSS: Sistemas globales de navegación por satélite.
VID: Sistema de video de múltiples cámaras automáticas.
LPS: Sistemas de posicionamiento local basados en radares.
RFID: Chips de identificación por radiofrecuencia.
MEMS: Sistemas micro electromecánicos.
CV: Coeficiente de variación.
SEE: Error estándar de medición.
MAPE: Error porcentual absoluto medio.
LOA: Límites de concordancia de Bland-Altman.
rC: Coeficiente de concordancia.
IC: Intervalo de confianza.
ICC: Coeficiente de correlación intraclase.
LCD: Pantalla de cristal líquido.
ANOVA: Análisis de varianza.
IAAF: Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo.
BIAS: Diferencias de promedio.
TR: Tiempo de reacción muscular.

Descriptores

Tecnología - electrónica - instrumento de medición - entrenamiento deportivo - software y hardware libre - proceso de prototipado – concordancia – confiabilidad

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Con el avance social, cultural y científico que ha tenido la humanidad durante el siglo pasado y el presente, muchos procesos cotidianos se han vuelto más complejos, o han aparecido otros que requieren de nuevos conocimientos y destrezas por parte de las personas para poder utilizarlos (Reig, 2010; Touriñán, 2004; Touriñán y Soto, 2007). El área del movimiento humano y el deporte no se ha quedado atrás en este desarrollo, principalmente en cuanto a lo científico y tecnológico. De igual forma los sistemas de entrenamiento y de control son cada vez más avanzados, precisos, detallados y con variables de medición que producen mayor cantidad de datos (Delgado-Martínez, 2020; Merialdo, 2006; Pino-Ortega y Rico-González, 2021). Todo ese avance científico y tecnológico detrás de esa evolución tiene su costo. En ese sentido, el movimiento humano como fenómeno social, ha reclutado a millones de personas en todo el planeta, por lo que se convierte en una actividad muy lucrativa, la cual genera millones de dólares al año. De ahí el interés de la industria por dotar a las personas de mejores medios de entrenamiento, de competencia, de implementos o de accesorios de todo tipo para que su ejecución sea más eficiente y segura (Chappelet, 2005; Coakley, 2008; Rodríguez, 2012; Zhang et al., 2018).

Lo anterior, hace que tanto los entrenadores como los practicantes busquen los avances tecnológicos más recientes; en el caso de los sistemas de entrenamiento, cada día salen al mercado nuevos medios que son más efectivos, pero a la vez más complejos en su ejecución y control (Delgado-Martínez, 2020; Fava et al., 2018; Fava et al., 2020; Pino-Ortega y Rico-González, 2021). Muchos entrenadores quieren implementar dichos sistemas, pero se ven limitados por el acceso a adquirirlos o por los prohibitivos precios que tienen algunas de las tecnologías necesarias para poder utilizarlos con sus atletas.

Otra limitación que en ocasiones tienen las nuevas tecnologías para el control de los entrenamientos o competencias es el conocimiento técnico que se debe tener para operarlas, o la interpretación de los datos que generan. Esto se debe a que hasta el día de hoy los profesionales en movimiento humano no son capacitados en el manejo de tecnologías de punta para el control del entrenamiento deportivo. Los planes de estudio a nivel universitario o a nivel técnico van por detrás del acelerado desarrollo científico y tecnológico que existe y

que afecta también al área del movimiento humano y el deporte (Buzón-García y Barragán Sánchez, 2004; Paixão, 2004; Pino-Ortega y Rico-González, 2021; Valverde Chavarría, 2011).

El avance tan acelerado de la tecnología actualmente y su alto costo han provocado una preocupación en grupos de expertos en el área tecnológica, pues ven cómo la tecnología innovadora es muy difícil de adquirir y utilizar para la mayoría de la población mundial. Además, visualizan el problema de que la tecnología genérica desarrollada a nivel industrial no necesariamente se ajusta a los problemas específicos de cada persona y que pueden ser resueltos por medio de tecnología hecha a la medida. Los dos grupos más conocidos y avanzados se han constituido en fundaciones sin fines de lucro conocidas como Arduino (Italia) y Raspberry (Inglaterra) (Arduino, 2023; Raspberry, 2022).

También, estos grupos de expertos han visto que la falta de capacidad que tienen muchas personas para operar o desarrollar sus propias soluciones tecnológicas, los hace cada día más dependientes de una industria que en ocasiones opera con márgenes de ganancia exagerados y desproporcionados a los costos de desarrollo y de fabricación, y por lo tanto más bien les conviene que siga existiendo una ignorancia generalizada en la población en estos temas. Por lo tanto, fundaciones como Arduino y Raspberry, han efectuado iniciativas de hardware y software de uso libre, gratuitas o de bajo costo que pueden ser utilizadas para diseñar y fabricar dispositivos tecnológicos que se ajusten a las necesidades de cada persona. Además, la evolución de estos componentes tecnológicos no requiere un conocimiento muy avanzado en electrónica o programación informática y con sencillas capacitaciones muchos están en condiciones de poder confeccionar sus propias soluciones tecnológicas (Arango et al., 2014; Kushner, 2011; Lu, et al., 2020; Oberloier y Pearce, 2018; Russell et al., 2016; Vidal-Silva et al., 2019). Precisamente este tipo de conocimiento y capacitación tampoco se encuentra contenido en los planes de estudio de los profesionales o técnicos en el área del movimiento humano y el deporte haciéndolos consumidores dependientes de los productos comerciales si es que pueden adquirirlos debido a los altos precios del mercado.

Sobre la base de la problemática expuesta, este trabajo de investigación pretende indagar sobre la experiencia y la ruta que un profesional en movimiento humano o entrenador deportivo debe recorrer para diseñar, fabricar, validar y determinar la confiabilidad de un dispositivo electrónico que le ayude en su trabajo cotidiano. En este caso se escogió diseñar

un sistema para medir de forma automatizada los intervalos para el control del entrenamiento físico en desplazamientos horizontales, debido a que la medición del tiempo es uno de los parámetros de control más utilizados en muchos sistemas de entrenamiento físico (Suárez et al., 2021). Para ello, se pretende utilizar hardware y software de uso libre, buscando para eso capacitación apropiada y que el costo de diseño y fabricación sea mucho menor a un sistema adquirido a nivel comercial.

Justificación

Vivimos en un mundo con cambios que se han acelerado en las últimas décadas, esto hace indispensable la adaptación para lograr un desenvolvimiento armónico y efectivo con el medio que nos rodea. El desarrollo de la tecnología marca el paso de nuestra vida cotidiana. Para hacer uso eficaz de todo ese avance, son necesarias nuevas destrezas, conocimientos y habilidades, dado que muchas de esas innovaciones van poco a poco desplazando y eliminando las formas anteriores de hacer muchas actividades (Reig, 2010; Touriñán, 2004; Touriñán y Soto, 2007).

Hoy en día el currículo educativo, en todos sus niveles, debe comenzar a modificarse para incluir los conocimientos específicos en áreas tecnológicas (Buzón-García y Barragán Sánchez, 2004; Paixão, 2004; Valverde Chavarría, 2011). Estos conocimientos son necesarios actualmente como lo fueron hace décadas para todos los ciudadanos el aprender a leer, escribir, sumar y restar. Hoy es necesario que toda la población desarrolle conocimientos y experiencias en las tecnologías de la información, en programación informática y en electrónica. Los nuevos retos cotidianos se centran principalmente en las tecnologías que se utilizan en esos ámbitos, y para las cuales, si no se brinda capacitación a todas las personas serán cada vez más dependientes de otros para llevar a cabo sus actividades cotidianas (Touriñán y Soto, 2007; Trilling y Fadel, 2009; Vidal-Silva et al., 2019). El mercado laboral no escapa de la necesidad de capacitar en los últimos avances tecnológicos, por lo que los planes de estudio de las carreras universitarias, así como la educación continua de los profesionales de todas las áreas del conocimiento, deben enseñar sobre esas temáticas, ya que las tecnologías van entrando en sus ámbitos laborales mejorando, automatizando y desarrollando sus espacios y actividades (Reig, 2010; Russell et al., 2016; Touriñán y Soto, 2007; Vidal-Silva et al., 2019).

La importancia que se le está dando en el presente y en el futuro al acceso de las nuevas tecnologías, ha creado un movimiento mundial que apoya la producción de software y hardware libre y gratuito o con un costo muy bajo, y con una cantidad inmensa de recursos educativos gratuitos por Internet, desarrollados por comunidades de personas que comparten la filosofía de que todos logren resolver sus problemas cotidianos aprendiendo a programar tarjetas (informática), sensores y controladores (electrónica) de una manera sencilla. Ejemplos de lo anterior son los ya mencionados proyectos Arduino o Raspberry, los cuales crearon tarjetas o placas de control multiuso de bajo costo y con mucha flexibilidad y opciones de uso, y que operan con código o lenguaje informático gratuito y muy sencillo de construir al utilizar la metodología de programación por bloques (Arango et al., 2014; Arduino, 2023; Kushner, 2011; Lu, et al., 2020; Oberloier y Pearce, 2018; Raspberry, 2022; Russell et al., 2016; Vidal-Silva et al., 2019).

El desarrollo vertiginoso de la tecnología no ha pasado de lado para el movimiento humano, la actividad física y el deporte (Delgado-Martínez, 2020; Fava et al., 2018; Wilson, 2000). De hecho, es una de las áreas del quehacer humano en donde más avance tecnológico ha habido, no solo a nivel del deporte de rendimiento, sino en el sector del “fitness” o actividad física efectuada con fines recreativos y por salud, que es un mercado millonario a nivel mundial. Según un artículo en la publicación digital llamada “The Upside Newsletter”, se estima que la inversión en equipos tecnológicos para el fitness o para el rendimiento deportivo relacionados con la conectividad crecerá para el periodo entre el año 2021- 2025 en 11,12 billones de dólares, lo cual indica su importancia y su impacto en la economía (Blin, 2023). Sin embargo, el deporte profesional competitivo muestra un desarrollo tecnológico impresionante, pues el nivel del entrenamiento se ha llevado a tal punto que cualquier pequeña diferencia es la que puede decidir al ganador. En este aspecto, en los últimos 20 años se han creado tecnologías destinadas a medir información del atleta para valorar su desempeño, tanto durante los entrenamientos como en competencia y de esa forma optimizar el rendimiento de los atletas. (Delgado-Martínez, 2020; Fava et al., 2018; Fava et al., 2020; Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Las ciencias del movimiento humano han ayudado a través del tiempo a esclarecer cuáles son los factores determinantes en el mejoramiento del rendimiento de los deportistas. Prácticamente para cada uno de esos factores, se han desarrollado tecnologías para medirlos

y de esa forma con un análisis integral, poder definir el nivel y el rendimiento de cada atleta para mejorar su preparación y su competencia. Se habla de controlar en los entrenamientos el volumen, la frecuencia y la intensidad. En este último aspecto muchas variables se pueden controlar, entre ellas y de las más importantes es la velocidad de ejecución (Bompa y Buzzichelli, 2006; Mujika, 2006). Para ello es indispensable tener tecnología capaz de medir el tiempo de ejecución de la acción específica. Esto se puede hacer de muchas formas. Desde luego que la forma clásica de hacerlo es por medio de un cronómetro manual, con el inconveniente de que en periodos de medición muy cortos es muy difícil hacerlo con precisión.

De la misma forma, cuando se requiere hacer la toma de tiempo desde cierta distancia, así como cuando son muchos los intervalos por medir, se hace muy difícil llevarlo a cabo de forma manual. Para eso se han desarrollado diferentes tecnologías muy precisas y automatizadas las cuales miden con fotoceldas infrarrojas, sensores ultrasónicos, imágenes de video o sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), pero además se complementan con protocolos de transmisión de datos inalámbricos que permiten las mediciones a distancia sin necesidad de cables que hacen más difícil la instalación, la medición y que, según la tecnología utilizada, hasta podrían perjudicar la ejecución del deportista (Pino-Ortega y Rico-González, 2021). Las mediciones de tiempo en el deporte van desde el tiempo de ejecución de un ejercicio, el tiempo de carrera, la medición del tiempo de reacción ante un estímulo de diferente fuente o el tiempo de vuelo durante un salto como ejemplos (Ali et al., 2017; Bermejo et al., 2020; Brusque y Andrade, 2015; Castán et al., 2012; García-Orea et al., 2017; Harrison et al., 2005; Jackson et al., 2018; Lee et al., 2012; Mudric et al., 2015; Suárez et al., 2021; Supej y Holmberg, 2011; Umek y Kos, 2016; Van der Kruk y Reijne, 2018).

Un aspecto que se debe resaltar es que la tecnología creada alrededor del deporte y la actividad física es, en la mayoría de los casos, de alto costo y de poco acceso para la mayor parte de la población, especialmente en países en vías de desarrollo. Lo anterior hace muy valiosa toda iniciativa para crear o replicar tecnologías que ayuden al objetivo de mejorar de forma segura el rendimiento de los deportistas (Delgado-Martínez, 2020; Merialdo, 2006). Según el Banco Mundial (Wagner et al., 2001), la inversión en investigación y su posterior transferencia tecnológica a nivel social sigue siendo uno de los principales pilares de los

países industrializados. El mismo organismo desde principios de siglo no dudaba sobre cuál era el camino que podrían utilizar los países en vías de desarrollo para crecer. Sin embargo, se menciona que son necesarias políticas de incentivo y una mayor inversión en investigación y evolución de tecnologías en esos países.

El paradigma tradicional es que los países en vías de desarrollo son meramente “consumidores” de la tecnología de los países industrializados, aumentando el costo por adquirir dichos insumos. Por lo tanto, la propuesta disruptiva es que los países no industrializados inicien con el avance de sus propias tecnologías adaptadas a sus necesidades y con una probabilidad de hacerlo con un costo menor. Esto conlleva todo un cambio de paradigma no solo educativo sino social (Reig, 2010; Wagner et al., 2001).

Hoy en día se requieren ciudadanos más receptivos a ser informados, más analíticos con esa avalancha de información que reciben, ya no pueden ser receptores pasivos de la formación e instrucción que se les da formalmente. Con el acceso ilimitado a la información gracias a la Internet y otras fuentes de información, es necesario ser autodidacta y aprender lo que su entorno le exige, y ser creativos e innovadores con respecto a lo que se necesita para mejorar la calidad de vida. Este enfoque es aplicable tanto a nivel individual como colectivo (Reig, 2010; Trilling y Fadel, 2009).

Por todo lo anterior es que se requiere un cambio de paradigma, no solo el utilizado en la educación de los ciudadanos, sino también en la forma de plantear la solución a los problemas del entorno por parte de nuestros profesionales. Lo más fácil en muchos casos es pensar en comprar tecnología desarrollada en países industrializados, sin haber siquiera reflexionado sobre la posibilidad de que se pueda crear en nuestro país. Para lo anterior se requiere de un ciudadano que tenga capacidad de análisis del problema, que tenga creatividad, iniciativa y deseos de aprender, que tenga el ímpetu de ir a buscar la información o los recursos necesarios para validar la factibilidad y si al final concluye que es posible, dedicarse a concretar el proyecto. Lógicamente para que todo lo anterior sea posible, se requiere un cambio en la cultura del medio social, en donde sea vista con buenos ojos la persona emprendedora que se anima a intentarlo, y a quien se le puedan dar facilidades y recursos para que concrete un proyecto.

A partir de lo expuesto es que se justifica el planteamiento de un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico en el área del movimiento humano, que tenga como producto final

un instrumento de medición científica debidamente validado. Es importante mencionar que el presente proyecto se llevó a cabo con tecnología de acceso libre, la cual estará más al alcance de profesionales de países en vías de desarrollo que pretendan desarrollar sus propias soluciones tecnológicas.

Objetivo general

Desarrollar un dispositivo electrónico para el control de intervalos en el entrenamiento físico con desplazamientos horizontales.

Objetivos específicos

1. Diseñar un dispositivo electrónico para el control de intervalos en el entrenamiento físico con desplazamientos horizontales.
2. Fabricar un dispositivo electrónico para el control de intervalos en el entrenamiento físico.
3. Determinar la concordancia y la confiabilidad de un dispositivo electrónico para el control de intervalos en el entrenamiento físico con desplazamientos horizontales.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se expondrá una base teórica que permita entender el desarrollo y la importancia que han tenido y que tienen la ciencia, la técnica y la tecnología en la evolución de la humanidad. De igual forma se mencionarán algunos grupos de expertos en temas tecnológicos quienes se han preocupado porque las nuevas tecnologías lleguen a todos los rincones del planeta, para de esa forma posibilitar que las oportunidades de crecimiento humano estén en manos de todas las personas y no solo en los países industrializados. Además, se explicará cómo por medio de la electrónica y la informática, se pueden seguir procedimientos existentes que permitan desarrollar prototipos que ayuden en el área del movimiento humano y el deporte. Se explorará también la tecnología que se ofrece a nivel comercial en el ámbito del movimiento humano y el deporte, y se explicarán los procedimientos científicos que se utilizan para validar y darle confiabilidad a estos instrumentos.

La tecnología en el desarrollo humano

Es importante definir claramente lo que es la tecnología y otros conceptos que se le asocian, así como su impacto en el progreso de la humanidad. Estos conceptos son esenciales, como una base teórica, en este estudio y por lo tanto deben ser claramente definidos.

Definición de tecnología

Según el Diccionario de la Real Academia Española (RAE), el término “tecnología” se refiere a un conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico (RAE, 2021). De esta definición se desprende que la tecnología tiene una relación directa con la ciencia y la técnica. Este concepto ha evolucionado a través de la historia de la humanidad, por lo que se pueden encontrar muchas otras definiciones (Acevedo Díaz y García-Carmona, 2016). Por ejemplo, Gay (2002) define la tecnología como el resultado de relacionar la técnica con la ciencia y con la estructura económica y sociocultural, a fin de solucionar problemas técnico-sociales concretos. Esta es una definición en la cual se le da más peso a la relación de la técnica con la ciencia. Sin embargo, lo que llama más la

atención es cómo une el concepto a la estructura económica y sociocultural, dándole implícitamente a la tecnología una responsabilidad en la solución no solo de problemas individuales, sino en la contribución para solucionar problemas sociales concretos. Esta es una definición muy propia de los tiempos modernos en donde el tema productivo-económico, la ciencia aplicada y la urgencia de resolver problemas cotidianos la orientan.

La técnica la define Gay (2002) como el conjunto ordenado de conocimientos y los correspondientes procesos, los cuales tienen como objetivo la producción de bienes y servicios, o para llevar a cabo actividades, teniendo en cuenta la ciencia y los aspectos económicos, sociales y culturales involucrados. Acevedo y García (2016) afirman que la técnica no necesariamente tiene una base científica, y muchas veces esta se da más por la experiencia y la costumbre de cómo llevar a cabo alguna acción o labor (Acevedo Díaz y García-Carmona, 2016). Lo anterior era más común en los siglos pasados donde la ciencia no mostraba el desarrollo actual, y tampoco era posible difundirla en toda la sociedad, por lo que las personas comunes ejecutaban sus actividades cotidianas con técnicas aprendidas y heredadas de generación en generación, a través de prueba y error, sin ningún respaldo científico. Sin embargo, hoy en día ocurre lo contrario. Es casi una obligación en cualquier actividad humana el utilizar técnicas que estén respaldadas por la ciencia, y el efecto o producto de esta sinergia es lo que llamamos “tecnologías”.

Para definir con más precisión el concepto de tecnología en el contexto actual, Kline (1985) es más específico y contribuye con cuatro significados con los que intenta cubrir todas las posibles interpretaciones que se le den al término:

1. El conjunto de productos artificiales fabricados por las personas (herramientas, instrumentos, máquinas, artefactos y todo tipo de sistemas).
2. Los conocimientos técnicos, metodologías, capacidades y destrezas necesarias para poder diseñar y efectuar las tareas productivas; es decir, las actividades relacionadas con la pericia o experticia técnica, y el “saber hacer”.
3. Los recursos humanos y materiales del sistema sociotécnico de producción.
4. El sistema sociotécnico necesario para el uso y mantenimiento de los productos fabricados, que incluye también los aspectos legales.

Con esta definición, prácticamente no se excluye ninguna concepción que alguien quiera darle al concepto. Hay quienes entienden que la tecnología es un producto concreto,

un objeto fabricado para diversos usos. Pero una tecnología puede ser también un procedimiento para llevar a cabo una acción o tarea y no ser algo tangible, y que toma en cuenta todos los recursos necesarios como lo son las personas, su capacitación, su experticia y hasta los marcos jurídicos que rigen la tecnología (Kline, 1985).

La tecnología y su impacto en el desarrollo humano

Para explicar cómo la tecnología ha impactado la evolución humana, no se debe ir muy atrás en la historia. Precisamente la falta de conocimiento y crecimiento científico en los siglos pasados no permitió un desarrollo a gran escala de la tecnología en las sociedades por siglos. Lo anterior provocó que el avance humano no se viera muy afectado por la tecnología, y sí más bien por eventos como desastres naturales, cambios climáticos o enfermedades. Se podría decir que hubo hechos en la historia de la humanidad que causaron cambios muy lentos y limitados en áreas geográficas pequeñas, pero más relacionados a “las técnicas empíricas.” Estos hechos no se podrían considerar como tecnologías por falta del respaldo científico. Algunos eventos que se pueden mencionar son el manejo del fuego, el invento de la rueda, la agricultura, el dominio de materiales como el cobre o el hierro, o avances en las técnicas militares dados gracias a la suma de las invenciones mencionadas anteriormente. Sin embargo, todo cambio con el periodo renacentista donde la ciencia comienza a desarrollarse y esto comienza a traducirse en una serie de tecnologías que comenzaron a transformar el mundo.

Todo inicia con un intento de entender las leyes que gobiernan el universo, así como los elementos que lo forman. Durante los primeros cuatro siglos del Renacimiento se crea toda una base de conocimiento científico teórico en áreas como la física, la química, la biología, la astronomía, la medicina, la mecánica, la arquitectura, la ingeniería, la matemática, la navegación marítima. Además, hubo cambios en las ciencias sociales y humanas como la filosofía, la teología, la política y la economía, entre otras. Es así, como en la medida en que se va ensanchando la base del conocimiento científico es que comienza a unirse con técnicas existentes mejorando éstas y creando las tecnologías que acelerarán el desarrollo de la humanidad (Rueda-López, 2007).

Sin embargo, no será sino hasta el siglo XX donde se da un crecimiento exponencial científico y tecnológico que comienza a crear un fenómeno denominado “determinismo

tecnológico”. Este consiste en que la sociedad y la cultura comienzan a modificarse a nivel global e integral en función de los avances tecnológicos que se expanden por todo el planeta. Ejemplos de esto se dan en el siglo pasado con la aparición de la radio y la televisión comercial que permite que la información llegue a cada rincón del planeta en tiempo real. Además, el transporte terrestre y aéreo que hace al mundo pequeño, con los avances de la medicina y la salud que aumenta la expectativa de vida de las sociedades, entre otras tecnologías que marcaron el desarrollo humano de muchas generaciones (Keegan, 2012).

Y el siglo XXI no se queda atrás, para nadie es indiferente lo que ha significado la llegada de la computadora portátil, la Internet y más recientemente los dispositivos portátiles inteligentes. Vemos cómo, para bien o para mal, las sociedades se están transformando a una velocidad vertiginosa alrededor de estas tecnologías de la información, y cómo la exigencia de los ciudadanos por aprender sobre ellas y cómo utilizarlas se hace imperiosa porque de lo contrario no podrían seguir inmersos en actividades cotidianas tan normales como hacer una compra o un pago por un servicio (Echeverría, 1998; Rueda-López, 2007; Touriñán y Soto, 2007; Trilling y Fadel, 2009). El determinismo tecnológico ha crecido a tal grado, que hoy en día comienzan a conocerse los primeros estudios en neurociencia donde se demuestra que el uso de tecnología como la Internet está comenzando a remodelar inclusive la corteza y el funcionamiento del cerebro mismo (Keegan, 2012).

El ámbito del ejercicio profesional ha sido también fuertemente modificado con el determinismo tecnológico. Cada día son más las tecnologías que vienen a ayudar y mejorar la función de las diferentes profesiones y campos de trabajo. Lo anterior está llegando a un punto en donde ya se visualizan algunos oficios o roles que podrán, en un futuro muy cercano, ser ejecutados por tecnologías inteligentes las cuales sustituirían a los seres humanos. Los profesionales de hoy en día deben estar actualizados y comenzar a incluir tecnologías en sus labores diarias para ser más eficientes y competitivos en un mercado laboral que no esperará a nadie dentro de ese desarrollo actual y futuro (Echeverría, 1998; Rueda-López, 2007; Trilling y Fadel, 2009).

Acceso y evolución de la tecnología en los países en vías de desarrollo

Siguiendo la teoría del determinismo tecnológico, el acceso y uso de tecnologías de punta por parte de cualquier país, en definitiva, creará más oportunidades de crecimiento. Según el

Banco Mundial (Wagner et al., 2001), la inversión en investigación y su posterior transferencia tecnológica a nivel social es una de las causas para que existan diferencias grandes entre los países industrializados y los no industrializados. Inclusive hay investigadores que aseguran que el uso de tecnologías en los países en desarrollo puede ser uno de los factores más importantes para que salgan de la pobreza, o visto desde otra perspectiva, es el pilar del éxito de los países desarrollados (Besley y Case, 1993; Ernst y Lundvall, 2000).

Sin embargo, no se trata tan solo de introducir tecnologías y que estas comiencen a producir riquezas. Uno de los elementos sociales en los que se basa el éxito que pueda tener la tecnología para colaborar con el crecimiento de un país, es su sistema educativo. Es imperativo que la población en general obtenga competencias propias para producir, utilizar y sacar el mejor provecho a las tecnologías (Buzón-García y Barragán Sánchez, 2004). Para lo anterior son necesarios cambios y una predisposición de la institucionalidad de un país. El sistema debe ser capaz de adaptarse rápidamente a los cambios que se presentan día a día (flexibilidad), y a su vez que los puedan implementar (innovación). Por lo tanto, es vital “esparcir” la información y la tecnología a toda la población (Ernst y Lundvall, 2000). Esta flexibilidad e innovación debe estar presente en el sistema educativo que debe concebirse como un proceso que va más allá de las aulas. A este proceso se le ha denominado “alfabetización tecnológica” (Maiztegui y Otros, 2000; Reig, 2010). Pero para poder desarrollarlo es necesario ir más allá del modelo tradicional de enseñanza “trasmisión-recepción”, y emigrar poco a poco a un sistema que promueva la “enseñanza-aprendizaje” por medio del “aprender haciendo” (Maiztegui y Otros, 2000; Reig, 2010).

La alfabetización tecnológica debe llevarse a cabo en dos niveles. Primero el de la población en general, que debe tener un conocimiento básico científico y tecnológico. Lo anterior es necesario porque el mundo se llena cada día de más productos y servicios tecnológicos diseñados para atender las necesidades fundamentales de los ciudadanos, en donde son ellos mismos quienes deben operar dichos avances. Pero estas tecnologías requieren de un conocimiento base para ser utilizadas. Si una parte de los ciudadanos no las dominan estarían en riesgo de quedar excluidos de muchos procesos sociales. Esta formación debe enfocarse en el sistema educativo de primaria y secundaria, y también por medio de procesos de capacitación para la población adulta que ya pasó por esas etapas de la educación

formal sin haber recibido el conocimiento tecnológico básico. El segundo nivel se refiere a los profesionales y científicos que son los llamados a manejar y aplicar tecnologías de punta. Estos últimos inclusive con la misión de utilizarla para crear nuevo conocimiento que desarrolle aún más los países. Este nivel se debe concretar en las universidades y en los centros de formación vocacional (Maiztegui y Otros, 2000; Mon y Cervera, 2011; Peres Núñez et al., 2009; Reig, 2010).

Otro tema importante para tomar en cuenta es la dependencia tecnológica que existe entre los países industrializados y los que están en vías de desarrollo. Estos últimos avanzan al ritmo de los primeros. Si hay avance en los más evolucionados habrá avance en los no desarrollados manteniendo siempre la brecha tecnológica (Ernst y Lundvall, 2000). Por eso, para pensar en romper esa tendencia y cerrar brechas, es necesario como ya se mencionó el adaptar el sistema educativo para formar ciudadanos y profesionales capaces de analizar su entorno por medio de conocimientos científicos adquiridos, con el fin de buscar y fomentar soluciones tecnológicas para resolver sus problemas (Barrera et al., 2012; Mon y Cervera, 2011; Pedró, 2006; Reig, 2010; Trilling y Fadel, 2009; Wagner et al., 2001). El Banco Mundial asegura que una estrategia que rompe también la dependencia mencionada es establecer relaciones de cooperación entre investigadores de los dos grupos de países. Las estadísticas indican que la investigación crece exponencialmente en los países en desarrollo cuando se da este tipo de colaboración, y con esto se comienza a ejecutar sus propios procesos. Sin embargo, se menciona que son necesarias políticas de incentivo y una mayor inversión en investigación y desarrollo de sus propias tecnologías. Estos procesos probablemente bajen los costos para que la población pueda tener acceso a esa nueva tecnología (Wagner et al., 2001).

Conceptos y definiciones sobre electrónica e informática

En la actualidad es indudable el valor que dentro de las sociedades y su desarrollo tienen áreas como la electrónica y la informática. Cada día son más los procesos efectuados por medio de tecnologías electrónicas y que se gobiernan por medio de la informática. Como ya se mencionó, son campos en los cuales todos los seres humanos deben educarse se quiera o no, pues de lo contrario quedarán al margen de poder integrarse a las actividades cotidianas más esenciales que poco a poco se vuelven más asociadas a la electrónica e informática

(Acevedo Díaz y García-Carmona, 2016; Maiztegui y Otros, 2000; Núñez, 1991; Paixão, 2004; Reig, 2010; Saldaña, 1996; Touriñán y Soto, 2007). Pero para entender todo este fenómeno es conveniente conocer aspectos teóricos o prácticos de estas áreas del conocimiento.

Se comenzará por definir el concepto de “electricidad” como base para luego definir “electrónica” e “informática” y por último “la computadora”. La electricidad es definida por la Real Academia de la Lengua Española (RAE) como una forma de energía basada en la repulsión o atracción de partículas atómicas cargadas, como los electrones. La electricidad puede manifestarse en reposo, como electricidad estática, o en movimiento, como corriente eléctrica. También se puede entender la electricidad como un flujo de electrones a través de un conductor (Zuluaga, 1992). Por otro lado, la electrónica la define la RAE como el estudio y aplicación del comportamiento de los electrones (electricidad) en diversos medios, como el vacío, los gases y los semiconductores, sometidos a la acción de campos eléctricos y magnéticos (RAE, 2021). Nótese que en esta última definición se menciona la “aplicación” del comportamiento de los electrones, interpretándose esto como el uso práctico en la vida cotidiana de la electricidad. Ahora, se define la informática que, según la RAE, es el conjunto de conocimientos científicos y técnicas que hacen posible el tratamiento automático de la información por medio de computadoras. Y por último, se define la computadora como una máquina electrónica que, mediante determinados programas o instrucciones, posibilita almacenar y tratar información, y resolver problemas de diversa índole (RAE, 2021).

El primer uso práctico de la electricidad, y por ende el primer artefacto electrónico fue inventado por el científico estadounidense Thomas Alva Edison en el año 1883, cuando hizo pasar una corriente eléctrica por un filamento de carbono para volverlo incandescente produciendo una fuerte emisión lumínica, inventó lo que hoy llamamos el bombillo. A partir de ahí, Edison y otros grandes científicos de la época comenzaron a manufacturar otros artefactos electrónicos que, en conjugación, desarrollaron sistemas cada vez más complejos y eficientes, logrando mejorar muchos procesos o inventando nuevos que darían solución a muchos problemas prácticos de la época. Este avance de la electrónica sigue hoy en día y no se detiene (Floriani, 2006).

En el caso de la informática, todo inicia con la invención de la primera computadora, que como se definió anteriormente, es una máquina electrónica, por lo tanto, se basa en el uso y

control de la electricidad para su funcionamiento. Si bien es cierto ya existían máquinas mecánicas de cálculo matemático desde el siglo XVI, las primeras en utilizar la electricidad fueron las creadas por Allan Turing o la enorme Mark I desarrollada en Harvard por Howard Aiken, ambas durante la II Guerra Mundial. A partir de esos dos modelos comenzaron a crearse nuevas computadoras con muchas innovaciones electrónicas para mejorar su capacidad, velocidad, memoria y eficiencia hasta llegar a lo que se tiene hoy en día (R. Martínez y García-Beltrán, 2000).

No hay que explicar mucho lo que la electrónica y la informática han influenciado en el avance de la humanidad. Y como ya se planteó inclusive los hábitos de vida, la forma de relacionarse y comunicarse entre las personas, sus formas de percibir el mundo y prácticamente cualquier quehacer del ser humano se ha modificado por el avance de estas dos áreas, esto ha provocado el mencionado determinismo tecnológico, fenómeno social que tiende a crecer. (Echeverría, 1998; Keegan, 2012; Rueda-López, 2007; Trilling y Fadel, 2009).

A continuación, se definirán otros conceptos importantes en las áreas de la electrónica y la informática que son fundamentales para comprender los procesos pertinentes para el diseño y desarrollo de un sistema electrónico para la medición de intervalos en el entrenamiento físico.

Tipos de Corriente Eléctrica

Existen dos tipos de corriente eléctrica. La corriente directa o continua es aquella en donde el flujo de electrones va en una misma dirección, es decir, del polo o terminal negativa a la positiva. Son fuentes de este tipo de corriente las pilas, baterías, acumuladores y generadores de corriente directa. Es importante mencionar que la corriente directa es la única que se puede almacenar en pilas o baterías. Por lo general, los equipos de poca potencia usan este tipo de corriente, principalmente los receptores y equipos electrónicos.

Luego, se tiene la corriente alterna que presenta un flujo de electrones que varía periódicamente de dirección y por esa razón no tiene polaridad definida. Además, el cambio de dirección hace que este tipo de corriente presente una frecuencia que representa la cantidad de veces que cambia de dirección en un segundo. La corriente eléctrica que suministra energía en las casas de habitación es alterna y por lo general tiene una frecuencia de 60 ciclos

por segundo. La fuente generadora más usada para este tipo de corriente es el generador alterno o alternador, y esta no se puede almacenar. La mayoría de electrodomésticos utilizan este tipo de corriente al igual que los grandes equipos industriales (Rodríguez, 2018; Zuluaga, 1992).

Circuitos eléctricos

Todo sistema electrónico visto de forma simplista es en realidad, un circuito eléctrico con una entrada y una salida de energía. Un circuito eléctrico se define como un conjunto de elementos o componentes electrónicos, tales como resistencias, fusibles, condensadores, procesadores, transistores, sensores, actuadores o fuentes de energía, unidos todos entre sí por los llamados conductores con el propósito de conducir señales electrónicas o eléctricas. Cuando el circuito se interrumpe en algún lugar, se suspende la corriente eléctrica y el sistema deja de funcionar, es lo que se llama un “corto circuito” (Calcin y Mendoza, 2014; Rodríguez, 2018).

Los circuitos se clasifican en tres tipos. Los seriales son aquellos en donde los componentes están conectados uno tras otro. Es decir, cuando termina uno inicia el otro, (como los eslabones de una cadena) hasta que se cierra el circuito. En los circuitos paralelos, por otra parte, los elementos tienen sus entradas en un mismo punto del circuito y sus salidas en otro punto fijo del sistema. Finalmente, los circuitos mixtos son una mezcla de los anteriores. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas relacionadas con el voltaje, el amperaje y la resistencia de los componentes, e inclusive con las posibilidades de fallar de una forma u otra. Lo cierto es que el criterio para diseñar un sistema con un tipo u otro de circuito depende de lo que se desee lograr (Sánchez, 2019).

Componentes básicos de un circuito eléctrico

De una forma general un circuito eléctrico se compone de un grupo de elementos que tienen diferentes funciones, características y capacidades entre ellos mismos. 1) *Generadores*: Se encargan de suministrar el voltaje al circuito para que circulen los electrones en forma de electricidad. El circuito inicia y termina en el generador. Este puede ser un generador externo como una toma de electricidad de una casa, o puede ser un dispositivo de almacenamiento como una pila o batería. 2) *Conductor Eléctrico*: Es el

elemento que une todos los componentes y por medio del cual circula la electricidad por el circuito. Pueden ser cables de metal como cobre o elementos de polímeros acrílicos como la fibra óptica. 3) *Elementos de maniobra*: Son elementos que pueden interrumpir la corriente eléctrica dentro del circuito para detener el funcionamiento de los receptores. Son los llamados “interruptores” que encienden y apagan un aparato electrónico. 4) *Receptor Eléctrico*: Es el componente o equipo eléctrico o electrónico que recibe y utiliza la corriente, transformándola en otro tipo de energía que puede ser mecánica, sónica, lumínica, o calórica, entre otras. Ejemplos de estos pueden ser bombillas, parlantes, motores, etc. 5) *Elementos de Protección*: Son dispositivos que se incluyen dentro del circuito con el objetivo de interrumpir la corriente de forma automática cuando se da una situación anómala como un corto circuito o una sobrecarga. Un ejemplo es el fusible, que normalmente se instala en los equipos eléctricos. 6) *Equipos y Dispositivos Complementarios*: Son dispositivos que se intercalan en el circuito con diferentes funciones como medir, convertir tensiones, filtrado, ratificación o control. Ejemplos de estos son los transformadores, los condensadores, los diodos, las resistencias y los transistores, entre otros (Rodríguez, 2018).

Diseño y confección de un circuito eléctrico

Como cualquier proyecto de construcción (construcción de edificios, mecánico, electrónico, etc.), se debe comenzar con un dibujo o plano del circuito que se desea crear. Para eso el diseñador debe tener conocimiento básico de electricidad y electrónica; además, conocer los diferentes tipos de componentes, sus funciones, sus características y capacidades, y sus necesidades de tensión y corriente. También, debe tener claro cuál es la función por cumplir por el sistema a diseñar. De igual forma se debe estar seguro de que cuenta a su disposición con todos los componentes necesarios. Actualmente, los diseñadores pueden usar diferentes programas informáticos gratuitos que están en línea o que se pueden descargar, y que sirven para hacer los diseños electrónicos de los circuitos utilizando componentes con las características y comportamientos reales, y luego con el programa se puede ejecutar una simulación para determinar cómo funciona el diseño confeccionado, y corregir posibles errores que se hayan cometido al concebir el circuito.

Después de que el diseño del circuito supere las simulaciones, se puede pasar a elaborar un prototipo en una placa de prueba o “protoboard” temporal. Estas son tableros aislantes

con filas y columnas de orificios paralelos entrelazados internamente por conductores, que permiten insertar y conectar componentes y conductores para llevar a la práctica el diseño probado con los simuladores. Ya cuando el prototipo funciona como se quiere, se puede pasar el prototipo a una placa de pruebas permanente. Estas placas se fabrican con un tipo de plástico aislante llamado “baquelita” forradas en su superficie con láminas de cobre. Un tipo de placa permanente es aquella que ya está perforada solo para insertar y soldar los componentes y los cables conductores de cobre, o aquella que no tienen perforaciones y lo que procede es “imprimir” el diseño sobre la placa con una impresora láser, y por medio de ácidos se disuelve todo el cobre expuesto quedando solo las pistas o conexiones de cobre que fueron protegidas por la tinta de la impresión laser. En este caso igual hay que soldar los componentes, excepto los cables conductores, los cuales serán sustituidos por las pistas de cobre que terminan sobre la placa de baquelita. Este sistema deja la placa “más limpia” al no tener que utilizar cables. Con cualquiera de los dos métodos se obtiene una placa con el circuito que se puede instalar y poner a trabajar donde corresponde.

Posteriormente, si es necesario, se pueden efectuar diferentes pruebas de capacidad y función para terminar de probar el prototipo. Si el prototipo se desea producir en grandes cantidades para su comercialización, se puede enviar el diseño hecho por el programa simulador y para el que ya se comprobó su funcionamiento y eficacia con el prototipo, a empresas especializadas en la confección de “circuitos impresos” que son placas de fibra de vidrio con pistas de cobre sobre las cuales, con robots, sueldan e integran todos los componentes del circuito de una manera rápida y confiable, y a precios muy bajos. Algunas ventajas de estos circuitos impresos son su presentación y su tamaño que por lo general son más reducidos que los prototipos hechos por el diseñador en placas de baquelita (Acha y Castro, 2002; Rodríguez, 2018).

Circuitos Electrónicos digitales

Hasta ahora se ha explicado el circuito electrónico con una estructura muy simple y lineal. Sin embargo, en la medida en que la tecnología se ha desarrollado, la capacidad de creación y los medios para concretar esa creatividad, han logrado encontrar soluciones a muchos procesos cotidianos y complejos. Estas soluciones se han dado gracias a la llamada “electrónica digital”. Esta es concretamente el área de la electrónica más avanzada, la cual

crece a pasos agigantados. Su propósito es controlar los sistemas electrónicos por medio de información codificada en dígitos, por lo general 0 y 1, a diferencia de los sistemas analógicos donde la información se representa en rangos de valores continuos y hasta infinitos. Por medio de este sistema, utilizando el 1 y el 0 se puede mostrar de muchas formas cómo puede ser el voltaje base (0 voltios) de un componente electrónico o una corriente específica diferente a 0 voltios que representa el 1. Esta forma de codificar información se puede hacer más compleja combinando más dígitos con valores que pueden ser 0 o 1, y si se enlazan más dígitos se puede desarrollar un código cada vez más complejo y poderoso. A este código se le conoce como “código binario”. Esta codificación es lo que da origen a los llamados lenguajes computacionales, los cuales no son otra cosa que millones de 0 y 1 que en combinaciones específicas representan órdenes para que el sistema electrónico actúe como se desea. Los circuitos con este tipo de tecnología son los llamados “circuitos electrónicos digitales” (Acha y Castro, 2002; Compañ-Rosique et al., 2015; Palacios, 2009; Salgado et al., 2013).

En la historia de la electrónica se han ido desarrollando diferentes componentes que son capaces de manejar códigos binarios, como por ejemplo las válvulas, los tubos al vacío, los transistores, los chips y los microprocesadores. Estos últimos son los que permitieron un gran salto en complejidad y eficiencia de los sistemas electrónicos posibilitando inclusive crear máquinas con capacidad de inteligencia artificial. Estos sistemas se conocen también como “computadoras” y según la RAE (2021) son máquinas electrónicas que mediante determinados programas, permiten almacenar y tratar información, y resolver problemas de diversa índole. Esta tecnología es la que da pie al nacimiento de la informática que, precisamente, se dedica al desarrollo por medio de lenguajes computacionales de las secuencias de órdenes o “programas computacionales” que son los que dirigen y controlan las computadoras, que a su vez dirigen una cantidad de componentes electrónicos o mecánicos de diferentes tipos, hacen cálculos, guardan información e inclusive como se dijo toman decisiones simulando la inteligencia del ser humano (Acha y Castro, 2002; Compañ-Rosique et al., 2015; Palacios, 2009; RAE, 2021; Salgado et al., 2013).

Programación de las computadoras

Como se mencionó, por medio de códigos binarios se pueden elaborar lenguajes computacionales con los cuales se pueden crear secuencias de órdenes o “programas computacionales” que pueden controlar a placer del programador el funcionamiento de una computadora. Un programa computacional se crea por medio de “compiladores”, los cuales son sistemas de traducción de comandos con términos y expresiones en el lenguaje computacional específico que el programador escogió y los convierte en secuencias gigantescas de códigos binarios que son el lenguaje entendido por la máquina (Compañ-Rosique et al., 2015; Palacios, 2009; Salgado et al., 2013).

Sin embargo, antes de proceder a “programar”, es necesario hacer un análisis de la situación o problema que se desea solucionar. Lo anterior tiene el objetivo de “estructurar” de una forma ordenada y lógica la secuencia de acciones necesarias para lograr alcanzar la meta deseada. Cuando se tiene claridad sobre las partes y el orden que debe cumplirse se puede programar. A ese proceso descrito anteriormente se le llama “pensamiento computacional”. Este es necesario desarrollarlo en los programadores, pero realmente es un aprendizaje muy útil aplicable también a muchos otros campos o situaciones cotidianas de cualquier persona, aunque el problema a enfrentar y solucionar no tenga que ver con electrónica o informática. Al producto de este análisis se le denomina “Algoritmo”, la RAE lo define como un conjunto ordenado y finito de operaciones o instrucciones que permite hallar la solución de un problema. Un algoritmo se puede representar de muchas maneras, pero la más utilizada es confeccionar un diagrama de flujo, que es equivalente a tener un plano estructural de un edificio antes de construirlo. Con el diagrama el programador va programando cada parte del algoritmo siguiendo el flujo mostrado que lo llevará a desarrollar el programa deseado (Compañ-Rosique et al., 2015; Palacios, 2009; RAE, 2021; Salgado et al., 2013).

Lenguajes de programación

Previo al abordaje de lenguajes de programación se debe hacer referencia al pensamiento computacional, entendido como la actividad mental para abordar problemas que se solucionan por vías computacionales, en donde esta solución pueda ser dada en la integración de pensamiento humano y software/hardware. El pensamiento computacional considera

ciertas habilidades, conocimientos y actividades como los son: la identificación de problemas que puedan resolverse por vías computacionales, abstracción de patrones de relevancia del problema, diseño de algoritmos para dar soluciones ordenadas, identificar los datos más relevantes y proponer modelos de solución (Bolívar, 2021).

Entre los lenguajes, y entornos de programación más empleados se encuentran los de utilización básica como lo son: Alice, Lightbot, App Inventor, RITA, Scratch y otros más complejos como MatLab, C++, Java, o Python (Bolívar, 2021).

Un software no se reduce a un conjunto de instrucciones que le señalan a un ordenador qué tiene que hacer y cuándo, pues es un medio para desarrollar una comunicación efectiva entre el ser humano y una computadora. En este sentido, un ordenador debe entenderse como un sistema que puede estar en dos estados. El primero, pasivo, sin controlar o participar en algún proceso, o haciendo lo contrario por medio de acciones específicas. Por lo que, un software debe concebirse como lo que guía al computador sobre cuándo los interruptores deben estar en cero o en uno, dependiendo de la tarea a ejecutar, y así determina si su estado es pasivo o activo. Esto provoca que un programa escrito se transforme en un lenguaje de programación, o mejor dicho, en instrucciones inteligibles para el computador, lo que se denomina compilación, efectuado por compiladores. Por lo que los lenguajes de programación contribuyen a que el ser humano comprenda de manera rápida la traducción del código binario (Almenara, 2007).

Desarrollo de prototipos

Existen muchas definiciones y acepciones del término “prototipo”. Sin embargo, para este proyecto interesa una que se relacione con ingeniería y con la fabricación de tecnología electrónica. Se puede entender como un prototipo al primer modelo de un producto o artefacto, de tamaño real o a escala, hecho con materiales de prueba o definitivos planteados para su fabricación, y que tiene como propósito la validación técnica. El objetivo para fabricar un prototipo es probar y validar el diseño de algún producto. También, servirá para valorar el costo y la dificultad de construirlo o producirlo en grandes cantidades (ECWID, 2018; RAE, 2021; Salazar, 2012).

Hay muchas clasificaciones de las clases de prototipos. Para los propósitos de este proyecto la que indica Salazar (2012) es apropiada. Declara que los prototipos pueden ser

clasificados en cuatro categorías según su función y complejidad. Esta clasificación puede tener un sentido secuencial o por etapas, pero no necesariamente en todos los casos se debe aplicar así y alguno de los tipos se puede obviar. Primero se define el “prototipo visual”, el cual busca mostrar la forma o el tamaño del producto. No debe ser funcional ni ser construido con los materiales finales, simplemente es para tener una idea visual de este. Segundo, el “prototipo de concepto”, el cual es un modelo básico que busca enseñar que la idea funciona y que es posible fabricarlo. Se fabrica con los materiales que se tengan a mano y su acabado no es importante. Además, su funcionamiento puede no ser exactamente lo que se quiere, pero debe ser suficiente para demostrar que la idea funciona. Tercero, el “prototipo de presentación” el cual se construye para ser presentado a personas a quienes se busca interesar en él. Esta versión debe ser funcional e intenta ser construido con los materiales y técnicas a la medida para el prototipo. Probablemente, para llegar a este punto el producto ha pasado por una serie de pruebas y validaciones que han ayudado a depurar los primeros prototipos. Y por último, el “prototipo de preproducción”, el cual se puede ver como una variante del prototipo de presentación, pues este se ajusta a la idea de producirlo en serie y en grandes cantidades, y muchas veces esto hace que se cambien materiales o su diseño, pero debe mantener la funcionabilidad inicial. También, podría ser que se fabrique exactamente el prototipo de presentación, pues no hubo necesidad de modificaciones para la producción (Salazar, 2012).

Sistemas y tecnologías de libre acceso

El software libre no debe confundirse con gratuito, lo que da el carácter de libre es la posibilidad de modificarlo, no el precio. Por lo tanto, el propietario del software libre garantiza que los usuarios, mediante una licencia, tienen la libertad de gestionar el código fuente. Por otro lado, el propietario de softwares no-libres facilita el uso con numerosas limitaciones (Segura y Muñoz, 2007).

Para entender qué es el software libre, se debe analizar el cómo se producen los softwares, la manera de organizar y codificar la información que se produce y los protocolos de comunicación entre programas y redes. En relación con su construcción, una de las diferencias entre el código libre y el no-libre es que en el primero el facilitador del software dispone del código fuente en el que el programa está escrito, por lo que permite que otro

programador haga cambios, arregle errores, añada funciones y difunda mejoras para que otras personas se beneficien de su trabajo. En el código no-libre es muy difícil hacer cambios o siquiera comprender cómo está desarrollado el programa; además, en muchos casos acceder al programa sería un delito (Almenara, 2007).

Existen diferencias claves entre el desarrollo tradicional de software y el desarrollo libre de estos. El primero es caracterizado por ser un proceso de diseño, codificación y elaboración de producto por parte de un equipo con un interés comúnmente mercantil y privado. Por otro lado, el software libre comúnmente es ejecutado de una manera cooperativa con una intención más utilitaria. Al distribirse de manera gratuita, con realimentación y mejoras de parte de las personas usuarias. Esta manera libre de desarrollar softwares se basa en el principio de desarrollo para compartir el conocimiento e información (Olson y Rosacker, 2013).

Los softwares de libre acceso, en el deporte, han sido utilizados para representar elementos básicos como biografías, récords, estadísticas técnicas y tácticas básicas, tablas de posiciones y premios. Otros también más complejos como la medición de aspectos técnicos óptimos, evaluación biomecánica, comportamientos tácticos, identificación de errores técnicos, rutinas de sustitución (Schumaker et al., 2010). El acceso a esta información en la actualidad puede darse en tiempo real y puede estar enlazado con páginas web, aplicaciones móviles o redes sociales, donde se pone a disposición pública toda la información analizada de competencias, atletas, equipos entre otros (Schumaker et al., 2010).

Con la creación de nuevas tecnologías se han producido una serie de hardware y software que permiten capturar, procesar y analizar, en algunos casos en tiempo real, una gran cantidad de información en diferentes escenarios. Los datos recopilados pueden ser de hasta mil datos por segundo en una cantidad de hasta 100 a 1000 variables que generalmente se capturan en cientos y miles de puntos de datos por segundo. Estos conjuntos de datos o combinaciones de conjuntos de datos cuya variabilidad, complejidad, volumen y velocidad de crecimiento dificultan su captura, procesamiento, gestión o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales se denominan “big data”. La minería de datos es una forma de identificar variables relevantes y extraer los datos más representativos de una gran cantidad de información. En el deporte, esta gran cantidad de información representa un reto importante para el análisis de la información en plazos cada vez más reducidos para tenerla disponible

en la toma de decisiones del día a día del cuerpo técnico (Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Los softwares libres de gestión y minado de datos, facultan que no exista una ventaja competitiva al proveer a los científicos del deporte de una herramienta tecnológica para el análisis masivo de datos e identificación de variables claves que determinan el rendimiento deportivo (Schumaker et al., 2010). La identificación de las variables más relevantes que explican el comportamiento de un atleta, equipo o competencia permite hoy en día tomar decisiones más objetivas con base en la evidencia científica (Rojas-Valverde et al., 2019, 2021). Si este tipo de softwares no se encontraran disponibles y de libre acceso podría significar una desventaja tecnológica a aquellos cuerpos técnicos que no tengan acceso o conocimiento suficiente, pues la disponibilidad de esta información es clave para reorientar las decisiones en torno al rendimiento deportivo.

El tema de tecnologías libres no es exclusivo del área de desarrollo de softwares. Estos requieren de una plataforma tecnológica sobre la cual operar, conocida como “hardware libre o abierto”. Si bien es cierto, que el software libre puede operar sobre hardware comercial, este no da necesariamente la libertad de hacer y crear lo que el usuario quiere y necesita, por lo que el hardware libre se desarrolla para permitir más soluciones a los problemas cotidianos (González et al., 2003). Lo anterior ha sido un tema de preocupación de diferentes grupos de expertos en tecnología que veían cómo el costo del software y el hardware se convertía en un obstáculo para el acceso que deberían tener todos los seres humanos a esta. Hay varios ejemplos de lo anterior, pero uno de los más famosos y exitosos es el grupo italiano llamado “Arduino”. En el año 2003 el estudiante del Interaction Design Institute Ivrea (IDII) de Italia, Hernando Barragán, desarrolló una plataforma de hardware como parte de su proyecto de tesis de maestría, supervisado por el profesor Massimo Banzi. En esos años los estudiantes del IDII utilizaban para sus prácticas un microcontrolador “BASIC Stamp” con un costo cercano a los 100 dólares, esto era muy costoso para los estudiantes. Fue entonces cuando en el año 2005 el profesor Banzi, junto con otros colegas, crearon el proyecto “Wiring” y le agregaron una serie de mejoras al prototipo original. Sin embargo, pronto se separaron del proyecto y lo renombraron como “Arduino”, nombre que tomaron de un bar en donde los integrantes del grupo solían reunirse. Este grupo siguió desarrollando nuevas tarjetas microcontroladoras con accesorios y las prepararon para que funcionaran con software libre

y a costos muy bajos. Lo anterior ocasionó que se creara una comunidad de usuarios que le comenzaron a dar uso a estas tecnologías libres de las maneras más diversas y creativas, cumpliendo de esa forma con los principios del software y hardware libre. Hoy en día existe una Fundación Arduino, la cual se encarga de administrar y cuidar todos los activos y programas educativos que generan las tecnologías Arduino (Arduino, 2022, 2023). Existen también otros movimientos similares al Arduino, como por ejemplo la Fundación Raspberry de Inglaterra, que tiene los mismo fines de la Fundación Arduino, pues ambas buscan que cualquier persona mejore su calidad de vida a través del uso de la electrónica y la tecnología accesible (Raspberry, 2022).

La tecnología en el movimiento humano y el deporte

El área de conocimiento que se conoce como las ciencias del movimiento humano y el deporte no ha escapado al impacto que el desarrollo tecnológico ha causado a nivel mundial. A continuación, se explicarán algunos aspectos relevantes en este fenómeno social ya descrito anteriormente.

Definición de movimiento humano

El movimiento humano ha evolucionado epistemológicamente desde las ciencias de la educación física, las ciencias de la actividad física y el ejercicio, y las ciencias del deporte. Por ello, es difícil conceptualizar las ciencias del movimiento humano debido a que confrontan y confluyen varios términos utilizados previamente para referirse a múltiples áreas de estudio. El objeto de estudio de las ciencias del movimiento humano es el movimiento humano en sus diferentes manifestaciones. Etimológicamente se conceptualiza como kinantropología del griego, “kinein”, que significa estar en movimiento, de “anthropos”, del ser humano y de “logos”, que significa ciencia (Schoner, 1995).

Entonces para estudiar el movimiento humano es necesario investigar cómo las personas se mueven en diferentes escenarios y contextos y los factores relacionados a su análisis, mejora y readaptación mediante el movimiento. Para su comprensión, se requiere del conocimiento que brindan las ciencias que estudian, la organización, desarrollo, control, aprendizaje y readaptación funcional de las personas. A diferencia de las ciencias que son consideradas antecesoras y complementarias a las ciencias del movimiento humano, este

fenómeno es abordado desde un punto de vista integral e interdisciplinario, entendiendo que el ser humano es un ente biopsicosocial (Salas-Cabrera, 2014; Viquez y Viquez, 2018).

La evolución de las ciencias del movimiento humano ha sido parcialmente aceptada. En Estados Unidos prevalece el término de kinesiología, en Australia resaltan las ciencias del movimiento humano y el deporte, en Reino Unido perduran las ciencias del ejercicio y de los deportes. Finalmente, en España se mantienen las ciencias de la actividad física y el deporte. Con ello, la educación física como término genérico está caducando (Tinning, 1986). Es por ello que las ciencias del movimiento humano se han propuesto para dar más consistencia y claridad al campo que incluye la educación física, las ciencias del deporte, la recreación, el entrenamiento deportivo, la gestión del ejercicio, entre otras. Para Tinning, (1986), las ciencias del movimiento humano brindan un equilibrio entre la consecución del rendimiento y la participación.

Aplicaciones de la tecnología en el movimiento humano

La tecnología moderna ha tenido un profundo impacto en el deporte, tanto que los atletas y entrenadores consideran que la información derivada de estas herramientas y dispositivos tecnológicos es invaluable (Liebermann et al., 2002).

Los atletas se esfuerzan permanentemente para alcanzar los niveles máximos de rendimiento físico, fisiológico y mental. Esto se efectúa con el fin de conseguir la optimización deportiva y mantenerla en el tiempo. Lo anterior, en el intento de alcanzar la perfección, requiere de gran cantidad de tiempo e inversión; especialmente porque la brecha entre ganar y perder se hace cada vez más pequeña (Carling et al., 2009).

Es por ello, que en las últimas dos décadas, se ha evidenciado un incremento en la cantidad, calidad, variedad, objetividad, validez, confiabilidad de herramientas tecnológicas y desarrollo de softwares y hardware para la optimización y evaluación deportiva (Pino-Ortega y Rico-González, 2021). Estas evaluaciones tecnológicas según Carling y otros (2009) se ejecutan con varios objetivos, entre los cuales se destacan:

- Establecer un perfil base de cada atleta y equipo deportivo.
- Identificar las fortalezas individuales y oportunidades de mejora.
- Proporcionar retroalimentación a los jugadores sobre sus propias capacidades.
- Actuar como ayuda ergogénica, influyendo en su motivación para mejorar.

- Evaluar objetivamente la efectividad de una intervención de entrenamiento específica.
- Evaluar objetivamente la eficacia de otras intervenciones complementarias (e.g., nutricional o psicológico).
- Monitorear el progreso durante la rehabilitación, readaptación o determinar si un atleta está listo para competir.
- Identificar una relación entre las capacidades individuales de desempeño y el desempeño real durante las exigencias de la competencia.
- Monitorear el estado de salud de un atleta.
- Ayudar a identificar talento.
- Crear normas de desempeño según categoría de edad, etapa de desarrollo, poblaciones especiales.
- Ubicar a los atletas en un grupo de entrenamiento apropiado.
- Examinar el desarrollo del desempeño de un ciclo a otro.
- Permitir predecir el rendimiento futuro.
- Proporcionar datos para la investigación científica sobre las limitaciones de rendimiento.

Utilizar las fuentes tecnológicas más eficientes y valiosas para respaldar la toma de decisiones es un desafío constante para el mundo del ejercicio y el deporte. La tecnología, debe tener como objetivo recopilar, organizar y analizar la información de manera eficaz y eficiente. En este sentido, la tecnología como medio utilizado por atletas, entrenadores y cuerpo técnico juegan un papel esencial en este proceso. Desde un punto de vista de rendimiento, la tecnología moderna hace posible que las personas involucradas recopilen, analicen e integren información y recursos más eficazmente para mejorar la formación, la toma de decisiones y la colaboración. En consecuencia, la información derivada de las herramientas tecnológicas puede ser tanto un recurso estratégico clave como competitivo (Liebermann et al., 2002; Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Diferentes sistemas de medición en el movimiento humano

Fuerza

La fuerza muscular es definida como la fuerza máxima o torque desarrollada durante una contracción máxima voluntaria durante una condición y momento específico (Jaric, 2002).

La evaluación de la fuerza muscular se utilizan para ayudar a los atletas a organizar programas de entrenamiento más efectivos para mejorar su desempeño en la disciplina (Abernethy et al., 1995). La evaluación por medio de pruebas de fuerza muscular ha sido una forma popular de medir la función muscular en el deporte y el ejercicio, así como en otras ciencias relacionadas con el movimiento durante varias décadas.

La fuerza muscular ha sido usualmente medida por varios tipos de dinamómetros, mientras que la fuerza máxima muscular ha sido registrada por aparatos isocinéticos o calculando la fuerza a partir de una fuerza registrada. La fuerza muscular puede registrarse también por medio de contracción isométrica concéntrica y excéntrica utilizando dinamómetros (Abernethy et al., 1994).

Las pruebas de fuerza muscular, generalmente se han efectuado en condiciones en las que la fuerza registrada o el torque representa principalmente los resultados de la acción de un solo grupo muscular. Sin embargo, algunas pruebas se basan en la contracción de varios grupos musculares de una cadena cinética particular y también esta información se ha considerado como pruebas de fuerza muscular (Jaric, 2002). Las pruebas de fuerza se han empleado ampliamente en una serie de disciplinas relacionadas con el movimiento humano. El objetivo de las pruebas de fuerza muscular ha sido proporcionar valores normativos para disciplinas deportivas particulares, para seleccionar atletas jóvenes, para distinguir entre diferentes niveles de desempeño, o para evaluar los efectos del ejercicio físico o entrenamiento (Abernethy et al., 1995).

Existe una amplia gama de evaluaciones de fuerza y potencia, y muchas de ellas se han utilizado durante décadas. Sin embargo, la tecnología ha mejorado el juego en las pruebas de rendimiento físico, brindándonos nuevas herramientas para medir con precisión múltiples elementos de rendimiento, incluida la fuerza en las diferentes fases de la contracción muscular, la fuerza y la potencia bilaterales, y las proporciones de fuerza y potencia agonista: antagonista (Gómez-Carmona et al., 2020).

Una de las formas más válidas y fiables de cuantificar la fuerza muscular es por medios isocinéticos. El test de 1 Repetición Máxima (RM) permite evaluar la fuerza en ejercicios multiarticulares; dado que no requiere un equipo costoso, es muy rentable y accesible. En personas entrenadas, la prueba de 1RM se ejecuta comúnmente usando los mismos ejercicios que en las sesiones de entrenamiento de fuerza, lo que podría reducir la necesidad de una

familiarización previa con la prueba. Además, de estas ventajas sobre los dinamómetros isocinéticos, la prueba de 1RM ha demostrado ser segura en diferentes poblaciones, incluso entre niños, adultos mayores y personas con patologías. A pesar de que la prueba de 1RM puede llevar mucho tiempo cuando se evalúa la fuerza en un gran número de participantes, muchos investigadores la consideran como la prueba de referencia estándar de la fuerza dinámica (Grgic et al., 2020).

La dinamometría isométrica por otro lado es una forma de ejercicio de evaluación de la fuerza que se utiliza para medir la fuerza de un grupo muscular. Las pruebas isoinerciales miden la fuerza ejercida por un individuo cuando se mueve contra una resistencia constante. A menudo se usa para medir la fuerza en entornos deportivos y de rehabilitación. Por último, la dinamometría isocinética mide la fuerza máxima que un individuo puede producir en cualquier momento mientras se mueve contra una resistencia constante (Abernethy et al., 1995; Conger et al., 2016).

Una de las nuevas tecnologías con las cuales se cuantifica la fuerza es la fuerza isoinercial. Una de las principales limitaciones de estas pruebas es que no son específicas de la realización de la mayoría de los movimientos humanos, que requieren una contracción dinámica de la musculatura a lo largo de un rango de movimiento. Alternativamente, las pruebas isocinéticas, en todo el espectro de la relación fuerza-velocidad, se ha convertido en una medida ampliamente aceptada de la función y el rendimiento muscular (Murphy et al., 1994).

Potencia

La potencia es comúnmente evaluada utilizando pruebas con base en movimientos polimétricos balísticos como saltos o pruebas de velocidad explosiva. Entre las pruebas realizadas se encuentran, salto vertical (e.g. contramovimiento, squat, Avalakov), velocidad sprint 30-60m, prueba de 1RM al 80-40-20%, 30m lanzados, salto horizontal, velocidad de desplazamiento en una prueba contra resistencia, saltos con carga (Valero y Muñoz, 2017).

El tipo de fuerza, potencia, velocidad al que un atleta está expuesto indudablemente causará adaptaciones neuromusculares y morfológicas, que a su vez, puede mejorar las acciones de rendimiento específicas de los deportes, como controlar, golpear, bloquear, defender, correr, perseguir, evadir, patear, disparar y pasar. Para ello, se utiliza una combinación de fases de entrenamiento de fuerza y velocidad, hipertrofia, potencia y

actividad de estímulo del metabolismo para obtener adaptaciones específicas deportivas, posicionales e individuales (McMaster et al., 2014). Para esto, se han usado tecnologías como plataformas de fuerza, celdas de velocidad-tiempo, acelerómetros, placas de fuerza, transductores de posición, colchonetas de salto, sensores ópticos de movimiento y aparatos de salto y alcance, captura por video o aplicaciones en dispositivos móviles (McMaster et al., 2014).

Estas tecnologías han sido validadas para medir fuerza, aceleración, desplazamiento, tiempos de sprint, cambio de posición y sus respectivas variables integradas y derivadas. Esta información se puede utilizar para proporcionar retroalimentación del desempeño, evaluar la efectividad de la adaptación y preparar un seguimiento de los cambios a lo largo del tiempo. Los científicos del deporte han utilizado muchos de los sistemas de medición anteriores en escenarios de laboratorio y controlados; y más recientemente se han empleado acelerómetros para evaluar los cambios en la fuerza, velocidad y potencia durante los movimientos descritos, para evaluar la efectividad de las intervenciones de capacitación y monitorear los avances (Comstock et al., 2011). El desarrollo de unidades inalámbricas más pequeñas y prácticas (por ejemplo, acelerómetros inalámbricos y GPS) puede permitir a entrenadores de fuerza y acondicionamiento la oportunidad y capacidad para evaluar los cambios de rendimiento en los diversos ambientes de entrenamiento a lo largo del tiempo (Gouwanda y Senanayake, 2008). Sin embargo, los dispositivos disponibles comercialmente, por ejemplo, Myotest, XC2, G-Link-LXRS, AmmSensor aún no han sido probados en términos de cinemática y cinética de medición durante movimientos específicos a nivel deportivo y en entornos de alto rendimiento (McMaster et al., 2014).

Agilidad

La agilidad permite que un atleta reaccione a un estímulo, comenzar rápida y eficientemente, moverse en la dirección correcta y estar listo para cambiar de dirección o detenerse rápidamente para hacer una tarea de una manera rápida, fluida, eficiente y repetible (Young y Farrow, 2006). La capacidad de movimiento es un componente que a menudo se pasa por alto en la investigación de las ciencias del deporte y la medicina del deporte, y debe considerarse junto con la evaluación de la condición física y las características del rendimiento. La capacidad del atleta de modificar sus patrones para adaptarse en el ambiente es parte de la definición de agilidad. En este sentido, hay movimientos que sustentan el

rendimiento atlético que debe usarse en la evaluación de las capacidades de movimiento en los atletas. Para que la medición del movimiento sea efectiva, la evaluación no solo debe medir la disfunción en un conjunto estandarizado de movimientos, sino también identificar las diferencias en la capacidad de los atletas para ejecutar estos movimientos (McKeown et al., 2014; Parchmann y McBride, 2011).

El rendimiento deportivo requiere una capacidad de movimiento fundamental exigente en áreas como el control total del cuerpo bajo una carga alta, las habilidades de salto y aterrizaje con una sola pierna y otros desafíos de movimiento complejos que sustentan el rendimiento deportivo y que lo diferencian de actividades de la vida diaria (McKeown et al., 2014). Particularmente, la agilidad se ha cuantificado por medio de pruebas específicas de cada disciplina deportiva. Comúnmente, se ha controlado por medio de la velocidad, el tiempo y la efectividad en el logro de una acción. Es por ello que tecnologías como los dispositivos inerciales y herramientas de localización y posicionamiento global han sido propuestos para medir cambios de dirección, velocidad, tiempo, y saltos, entre otras variables claves en el desarrollo de una tarea específica (Dos'Santos et al., 2018; Marshall et al., 2014; Spasic et al., 2015).

Se espera que la capacidad de cambiar de dirección y velocidad rápidamente sea influenciada por la posición corporal adoptada mientras corre. Se requiere una inclinación hacia adelante para acelerar, una inclinación hacia atrás para desacelerar y detenerse, y una inclinación lateral para producir un cambio de dirección lateral. Estas posiciones del cuerpo son necesarias con el fin de producir fuerzas en el suelo para provocar fuerzas de reacción necesarias (Young y Farrow, 2006). Es por ello que dispositivos vestibulares (Hribernik et al., 2021) como giroscopios, acelerómetros y de rastreo del posicionamiento son los más usados actualmente (Granero-Gil et al., 2020; Reina et al., 2016) en conjunto con tests de agilidad con análisis biomecánicos (Sheppard et al., 2006).

Adicionalmente, la agilidad tiene un componente perceptual y de toma de decisiones. La mayor parte de la literatura de entrenamiento e investigación relacionada con la agilidad se refiere al entrenamiento o prueba que implica cambios de dirección planificados previamente. Esto generalmente se logra mediante el uso de obstáculos tales como conos, postes o escaleras. No es extraño que un atleta sea calificado como sobresaliente en agilidad en el campo pero se considera que posee cualidades atléticas promedio según las pruebas de

aptitud física (Young y Farrow, 2006). Tal atleta puede tener una velocidad de cambio de dirección promedio, pero ser muy ágil porque él o ella es altamente capaz para ejecutar elementos que requieren de percepción y de toma de decisiones. Por todo esto, la tecnología ha propuesto la realidad virtual para generar escenarios hipotéticos para cuantificar la toma de decisiones (Akbaş et al., 2019; Düking et al., 2018).

Velocidad

Históricamente se ha cuantificado la velocidad de diferentes formas, desde las más básicas como el cronometraje manual (Haugen y Buchheit, 2016), hasta sistemas de posicionamiento global (Jennings et al., 2010). Entre otras formas de medición se encuentran: sensores fotoeléctricos (Coleman y Lasky, 1992), fotoceldas infrarrojas (Bundle et al., 2003), transductores de velocidad y posición, acelerómetros (Zong y Wen, 2015) y video análisis. El cronometraje manual es ampliamente utilizado desde la década de los setenta, pero existen nuevas tecnologías que no generan dudas en el resultado. En teoría, se podría esperar una diferencia de tiempo entre el cronometraje manual y el totalmente automático relacionado al tiempo de reacción individual entre los cronometradores (Haugen y Buchheit, 2016). Es por ello, que el estándar de oro son los sistemas de cronometraje completamente automáticos que incluyen pistola silenciosa, cámara de “foto-finish” y bloques de salida sensibles a la presión para detectar salidas en falso. Las cámaras fotográficas de alta resolución capturan miles de fotogramas por segundo, que permiten a los oficiales de cronometraje estimar el tiempo con una resolución inferior a $\pm 0,0005$ s (Haugen y Buchheit, 2016).

La medición de velocidad por medio de celdas infrarrojas y sensores fotoeléctricos es uno de los métodos que ha revolucionado la evaluación de esta variable en el ámbito deportivo. Lo anterior debido a que dio una gran variedad de posibilidades de cuantificación de la velocidad en el campo mediante test diseñados por los propios evaluadores. Estos métodos consisten en sensores que se activan o desactivan por el paso de un cuerpo al romper la luz o sensor deteniendo o activando uno o varios cronómetros que se estén utilizando, minimizando el error de medición si se hace manualmente, o automatizar la toma de tiempo permitiendo así que el evaluador se concentre en otras tareas (Bundle et al., 2003; Coleman y Lasky, 1992).

Algunos artículos han utilizado cámaras de video para cuantificar la velocidad. Para ello, calculaban la velocidad por tiempo y distancia considerando los cuadros por segundo del

video (Coleman y Lasky, 1992). La velocidad cuantificada por medio de video no necesita una alta velocidad. Se requieren 60fps o hasta 120fps. Esta cantidad de cuadros normalmente se encuentran en los teléfonos móviles actuales por lo que se han desarrollado múltiples aplicaciones para conocer la velocidad en tiempo real. Para ello, se selecciona el fotograma inicial y final para calcular el tiempo, actualmente se dispone de cámaras de alta velocidad (Pueo, 2016).

Por otro lado, el uso de acelerómetros para calcular el tiempo se efectúa por medio del cálculo de la velocidad media por integración de la aceleración vertical, horizontal y lateral con respecto al tiempo (Zong y Wen, 2015). Estos acelerómetros triaxiales se encuentran en todo tipo de dispositivos actualmente.

Finalmente, los sistemas de posicionamiento global permiten a las personas evaluadoras determinar la velocidad de carrera y la duración del esfuerzo en tiempo real y comparar directamente los datos de entrenamiento y juego. Adicionalmente, la velocidad de carrera de varios atletas se puede obtener simultáneamente mediante estos dispositivos (Mooney et al., 2011; Rojas-Valverde et al., 2021). Este sistema, su validez y confiabilidad para la medición de la velocidad dependerá en gran medida de la frecuencia de muestreo (Reche-Soto et al., 2018).

Antropométricas

El interés en los métodos no invasivos de evaluación de la composición corporal va en aumento en el cuidado de la salud y la optimización en el deporte. La tecnología ha revolucionado nuestra comprensión de la normalidad y anomalías de la composición corporal. Las tecnologías de evaluación de la composición corporal y antropometría como factores de referencia se pueden categorizar en métodos basados en componentes químicos (ej. Densidad corporal, masa grasa, total de agua corporal, componente mineral óseo, proteínas), anatómicos con imágenes médicas (ej. grosor, área de tejidos), disección de cadáveres (Ackland et al., 2012).

Entre las tecnologías que se utilizan para la medición corporal se encuentra la absorciometría dual de rayos X (DEXA), densitometría ósea, hidrometría, ultrasonido 3D, escáner de fotones. Como métodos comúnmente utilizados para la cuantificación con base en pruebas de campo se encuentran los pliegues, la bioimpedancia, y el índice de masa corporal (Ackland et al., 2012; Heyward, 1996).

La ecografía se ha convertido en un método común para cuantificar la masa muscular. Las principales limitaciones del método son la falta de puntos de corte para hacer diagnósticos, escasez de protocolos clínicos y acuerdo sobre su uso e imprecisión en situaciones de edema excesivo. El análisis de impedancia bioeléctrica es un método ampliamente utilizado para estimar la composición corporal en diferentes condiciones clínicas, como cáncer, obesidad, sarcopenia y ancianidad. Sus principales limitaciones se deben a que es un método indirecto, está limitado por el estado y por las demandas de hidratación y por ecuaciones específicas que se utilizan para cada población normalmente no aplicable a atletas (Ceniccola et al., 2019).

Por otro lado, la evaluación de la composición corporal a través de la tomografía computarizada es considerada un método de gran precisión para analizar los compartimentos corporales. Finalmente, se ha desarrollado la DEXA para medir la densidad mineral ósea y ha sido reconocida por su capacidad para medir con precisión la composición corporal total. Estas dos tecnologías están limitadas por la no portabilidad, el alto costo, la exposición a la radiación y el personal altamente capacitado que se requiere para su manejo (Ceniccola et al., 2019).

Carga interna: variables fisiológicas y bioquímicas

Para la cuantificación de la carga interna, una de las variables más utilizadas es la frecuencia cardíaca. Se entiende por frecuencia cardíaca cuando el corazón late o bombea esa sangre, comúnmente registrada en latidos por minuto. La frecuencia cardíaca es un indicador vital del estado fisiológico esencial. Entre las variables relacionadas con la dinámica de los latidos del corazón que se han cuantificado a lo largo de la historia está la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Asimismo, se han explorado los efectos del ejercicio sobre la respuesta cardiovascular bajo diferentes escenarios como ejercicios de baja intensidad, respuestas asociadas al sobreentrenamiento durante la recuperación, gasto energético, impacto del estado de hidratación y factores ambientales, deriva cardiovascular, etc. (Achten y Jeukendrup, 2003).

La frecuencia cardíaca se ha cuantificado de múltiples formas. Una reciente revisión sistemática y un metaanálisis ha evaluado algunos dispositivos de diferentes marcas que cuantifican durante el ciclismo, la carrera, el entrenamiento de resistencia, el sueño y el descanso como Apple, Basis Peak, Empatica, Fitbit, Garmin, Microsoft, Mio, Omron,

Philips, Polar, PulseOn, Samsung, Tempo, TomTom, Wavelet. Los resultados han demostrado que los monitores de muñeca (fotopletiografía) tienen estimaciones aceptables de la frecuencia cardíaca en comparación con las medidas de criterio (electrocardiograma y banda torácica) (Zhang et al., 2020).

En la última década, los dispositivos han incrementado su captura, análisis, almacenamiento y reporte de información. No solo en la cantidad de variables monitoreadas sino también en términos de plataformas de visualización, incluso en tiempo real. El desarrollo tecnológico ha permitido que los dispositivos portátiles realicen muchas de las tareas que ejecutan los dispositivos móviles normales y, a menudo, son tan sofisticados que pueden incorporar diferentes sensores para interactuar con el cuerpo y el entorno (ej., termómetros, acelerómetros, monitores cardíacos, giroscopios, barómetros) (Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Considerando lo anterior, los dispositivos portátiles forman parte de una red de objetos físicos, software, sensores y conectividad que logra el intercambio de información con fabricantes, operadores y otros usuarios. Esto permite al usuario monitorear la información obtenida en tiempo real, teniendo la opción de compartir los datos obtenidos con sus entrenadores y personal médico para que se pueda lograr un control y evaluación constante, desde cualquier parte del mundo, de la carga interna. En los deportes, los dispositivos portátiles se han utilizado en muchas aplicaciones, incluido el rendimiento deportivo, el control del estado físico, el entrenamiento virtual, la navegación y el seguimiento al aire libre, la refrigeración y la calefacción del cuerpo (Wei, 2014). Para ello, la cuantificación de la carga interna es fundamental. Esta se define como la respuesta del estrés psicofisiológico derivado de la carga de trabajo externa.

Entre las variables de carga interna que se pueden cuantificar empleando dispositivos portátiles (ej., biosensores) se encuentran los termómetros de piel, los termómetros de temperatura interna (Gutiérrez-Vargas et al., 2018), la humedad, los sensores de sueño, los dispositivos de captación de sudor (Bandodkar y Wang, 2014), sensores infrarrojos y oxímetros (Gómez-Carmona et al., 2020), sensores de volumen y frecuencia respiratoria (Sharma et al., 2020), glucómetros (Dunn et al., 2018), sensores electrodérmicos (Bandodkar y Wang, 2014), electroencefalografía (Seshadri et al., 2019), sensores de pH (Bandodkar y

Wang, 2014), presión arterial (Seshadri et al., 2019) y monitores de frecuencia cardíaca (Sharma et al., 2020).

Estos biosensores utilizan tecnología eléctrica, óptica, acústica, química o térmica para cuantificar estas variables. Si es necesario, utilizan transductores y capas sensibles a productos químicos para convertir datos bioquímicos o biológicos en una señal eléctrica. Específicamente, los dispositivos mecánicos usan componentes piezoeléctricos para convertir el movimiento mecánico en otras formas de energía para registrar datos biológicos relacionados con los signos vitales (Dunn et al., 2018). El monitoreo y registro de la frecuencia cardíaca es posible a través de dispositivos portátiles que utilizan parches para la piel (Sharma et al., 2020), películas adhesivas (Bandodkar y Wang, 2014), relojes inteligentes, muñequeras (Cvetković et al., 2018), oxímetros de dedo, bandas para el pecho, electrodos, sensores en los oídos, cámaras faciales (Zhang et al., 2003) y otros. Recientemente, se han explorado opciones para dispositivos implantados en el cuerpo (ej., nanochips y microchips), tatuajes en la piel y sensores ingeribles. Adicionalmente, para el almacenamiento y análisis de la información registrada por estos dispositivos, se puede enviar de forma remota (ej., Bluetooth, WIFI) a otros dispositivos de mayor capacidad o integrados con diferente tipo de información como sensores de movimiento (ej., dispositivos de medición inercial) (Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Cargas físicas externas: análisis de movimiento

El análisis del movimiento se ha utilizado típicamente para dar realimentación al deportista y así adquirir movimientos y habilidades de una manera significativa. La realimentación es un concepto originado de la teoría de control mecánico (Liebermann et al., 2002).

Entre los sensores mecánicos, dependiendo del tipo de sensores incorporados en un mismo dispositivo portátil, se dan algunas denominaciones. Algunos sensores mecánicos como por ejemplo los sensores magnéticos, de velocidad angular y de gravedad (MARG) o unidades de medición inercial (IMU), utilizan acelerómetros para medir el movimiento en 3D, giroscopios para evaluar la rotación y magnetómetros para calcular la posición relativa. Tanto los sensores MARG como los IMU suelen combinar otro hardware como sensores de temperatura, Bluetooth, sistemas globales de navegación por satélite (GNSS, por sus siglas

en inglés), altímetros para registrar, controlar, corregir, comunicar y analizar los datos registrados (Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Los sensores mecánicos portátiles generalmente estiman el movimiento de traslación y rotación, las fuerzas aplicadas y los campos magnéticos para evaluar la carga externa del atleta (Dunn et al., 2018; Seshadri et al., 2019). Los sensores mecánicos pueden obtener la frecuencia de carga externa, la intensidad, la magnitud de la actividad física. Estos sensores son ampliamente utilizados debido a su precisión relativamente alta, bajo costo, tamaño pequeño e integración en las redes de sensores existentes (Lai et al., 2013). Este tipo de sensores se han utilizado en deportes y ciencias del ejercicio en múltiples aplicaciones.

La capacidad de monitorear el entrenamiento es fundamental para el proceso de cuantificación de los planes de periodización del entrenamiento. Hasta la fecha, ningún método o variable individual ha demostrado tener éxito en el seguimiento del entrenamiento durante múltiples tipos de ejercicio (Foster et al., 2001). Aunque la frecuencia cardíaca es un parámetro de gran valor para la cuantificación de la carga interna, se ha demostrado que el relativo retraso en la respuesta de la frecuencia cardíaca al movimiento físico, así como otros inconvenientes en su seguimiento, como la variación de un día a otro, soporte por el cual debe ser contrastado y complementado con diferentes variables para cuantificar carga. En este sentido, los sensores de movimiento ofrecen una solución ideal, principalmente porque facilitan el seguimiento temporal de la frecuencia, intensidad y duración de la actividad física. Por ejemplo, se ha informado que los acelerómetros triaxiales tienen una precisión mayor que la frecuencia cardíaca para predecir el gasto de energía durante ciertas actividades (Meijer et al., 1989).

Mediciones tácticas

El término ‘principio táctico’ se utiliza para referirse a los problemas contextuales en una situación de juego específica. El conjunto de máximas que debe tener en cuenta un jugador en función de las condiciones motrices a las que se enfrenta se visualizan como problemas de táctica de juego o principios tácticos. Estos principios establecen el punto de partida, la base; representan la fuente de la acción. Definen las propiedades invariantes sobre las que se elaborará la estructura fundamental de los desarrollos (González-Víllora et al., 2015).

Algunas de las variables que hay que dominar para ser un jugador inteligente y creativo son, entre otras, el dominio del espacio-tiempo, los diferentes ritmos de juego, el marcador y

el momento del partido, los puntos fuertes y débiles del contrario, las propias limitaciones y el potencial del equipo durante cada acción táctica. Estas características forman parte de la capacidad del jugador para adaptarse al contexto del juego, lo que se conoce como conocimiento táctico. Es por lo anterior que se torna muy complejo medir variables tácticas de manera global debido a la necesidad de medir situaciones complejas y toma de decisiones. Por lo que una herramienta de evaluación tendría que cuantificar variables espacio temporales, situacionales y cognitivas.

Entre las herramientas que se utilizan con regularidad se encuentran herramientas de marcas tales como GPAI, TSAP, KORA, GPET, FUT-SAT (González-Víllora et al., 2015). Estos métodos se basan en la observación de acciones tácticas y técnicas de los atletas (Clemente et al., 2013).

Actualmente, los sistemas de análisis táctico deportivo más habituales son tres: los sistemas de video basados en múltiples cámaras semiautomáticas (VID), los sistemas de posicionamiento local basados en radares (LPS) y los GPS. El VID se utiliza para el análisis externo del rendimiento deportivo que utiliza cámaras de alta definición para monitorear a los jugadores dentro del campo. Lo interesante de este sistema es que nos permite reproducir las pistas por todo el campo, lo cual da acceso a una información crucial para el análisis de los movimientos de los jugadores, no solo a nivel individual sino también en cuanto a las interacciones que se producen dentro del equipo. Su ventaja, frente a los otros dos sistemas, es que permanece fuera del terreno de juego, una variable importante para muchos entrenadores y responsables deportivos que consideran que ningún dispositivo debe traspasar la línea de cal (Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Los sistemas LPS son conocidos sobre todo por su uso en interiores, y su principio de funcionamiento se basa en la triangulación de la posición de una persona u objeto gracias a múltiples balizas distribuidas a lo largo y ancho del área señalizada. Sin embargo, su uso no está tan extendido como el de las otras dos tecnologías. El uso del GPS en la monitorización deportiva ha tenido un crecimiento exponencial con el cambio de la normativa FIFA sobre el uso de tecnología dentro del terreno de juego y es muy probable que sea el sistema de monitorización más utilizado (Pino-Ortega y Rico-González, 2021).

Entre las variables utilizadas para el análisis táctico mediante este tipo de dispositivos se encuentran el centroide, área de equipo y parejas. Parece que el uso de GPS/GNSS, y

especialmente LPS, se extiende cada vez más para evaluar el comportamiento táctico colectivo en los deportes en el futuro (Rico-González, Arcos, et al., 2020; Rico-González et al., 2021; Rico-González, Pino-Ortega, et al., 2020).

La medición del tiempo en el entrenamiento físico por medio de tecnologías

Medición a partir de la distancia

El seguimiento del posicionamiento de los atletas se puede hacer de diferentes maneras. Como cada sistema viene con sus propias ventajas, el análisis de video y los sistemas de posicionamiento local brindan opciones incluso complementarias. El seguimiento basado en video se fundamenta en múltiples cámaras que buscan el tiempo-movimiento de los jugadores y es una excelente herramienta para el análisis táctico porque captura todos los aspectos del juego. Sin embargo, la falta de movilidad en la configuración de la cámara es una de las limitaciones del análisis de video junto con la dificultad para determinar el punto exacto en el que los jugadores pasan de una categoría de velocidad a otra (Zhang et al., 2020).

Los sistemas de posicionamiento local (como la banda ultra ancha o WIFI) se utilizan normalmente para deportes de interior o deportes al aire libre que se llevan a cabo dentro de un área definida. Nuevamente, configurar el sistema puede causar barreras adicionales. Por otro lado, la navegación por satélite no funciona bien por sí sola en interiores, pero cuando se usa en exteriores no tiene estas limitaciones. Si bien proporciona algunos conocimientos tácticos, el seguimiento por satélite se destaca al proporcionar datos detallados sobre la velocidad y la aceleración, la posición, la distancia recorrida y la carga de trabajo (Leser et al., 2011).

Como resultado, el seguimiento por medio del sistema global de navegación por satélite (GNSS) se ha convertido en la principal herramienta para controlar el rendimiento físico en los deportes al aire libre. Recientemente, esta técnica se ha propuesto como una forma de monitorear la posición y la velocidad de un atleta durante actividades al aire libre con una precisión aceptable (Gløersen et al., 2018). Los avances tecnológicos del GNSS han dado como resultado receptores más pequeños y precisos, que se han vuelto cada vez más adecuados para calcular parámetros de rendimiento instantáneos durante las competiciones deportivas, por ejemplo, proporcionando la diferencia de tiempo entre los atletas en cualquier lugar a lo largo de un recorrido (Jennings et al., 2010). El uso de la navegación satelital para

el seguimiento de la distancia en el deporte ha aumentado sustancialmente en las últimas dos décadas. A medida que la tecnología se vuelve más accesible, su campo de aplicación también comienza a sobrepasar los límites del deporte de élite (Jackson et al., 2018). El aumento en el monitoreo del rendimiento a nivel amateur, con relojes inteligentes y aplicaciones móviles, es un indicador del apetito por los datos físicos entre la población en general en la actualidad (Cosoli et al., 2020).

Medición a partir del tiempo

Con base en el desarrollo tecnológico, ya pocas personas usan un cronómetro para medir el tiempo en una carrera o tarea. Lo anterior se da por lo poco preciso que resulta en mediciones donde las milésimas de segundo pueden hacer diferencias, o por la gran cantidad de datos que se deben registrar. Algunas empresas de tecnología deportiva portátil han creado productos para ayudar con la precisión del cronometraje en el juego y el mantenimiento de registros. Los atletas utilizan accesorios especiales para seguir su movimiento y velocidad. Otras veces, las herramientas de cronometraje están integradas en los propios lugares o se utilizan en sistemas dentro de los lugares. En muchas carreras, por ejemplo, la pistola de salida está vinculada a un reloj. Una vez que se dispara la pistola, el reloj inmediatamente comienza a cronometrar la carrera. Otros deportes, incluida la natación, utilizan un dispositivo táctil colocado en los carriles de llegada, así como sensores de inercia portátiles para definir el rendimiento. Algunos eventos de carreras también usan rayos láser y fotografías para determinar a los ganadores (MacLean, 2022).

Los resultados de los sistemas de cronometraje a menudo se proporcionan a la milésima de segundo más cercana. Sin embargo, los récords mundiales y olímpicos solo se registran a la centésima de segundo más cercana. Esta técnica se estableció para eliminar errores insignificantes (Finn, 2016).

Uno de los mejores ejemplos de tecnología en los deportes son los chips de identificación por radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés) que se utilizan para cronometrar a los participantes individuales en un evento. Son dispositivos diminutos con antenas integradas que transmiten señales inalámbricas a las estaciones de seguimiento. Los chips RFID se usan en carreras de larga distancia para ayudar a los locutores y espectadores a rastrear las ubicaciones exactas de los participantes durante una carrera. De esta manera, son una

herramienta para las plataformas de participación de los fanáticos, así como un instrumento para que los jueces evalúen el desempeño y el éxito (Wyld, 2008).

Hay dos tipos de chips RFID que se utilizan en las carreras: chips activos y pasivos. Los chips activos tienen una batería incorporada o una fuente de alimentación y pueden delimitar la hora exacta en que un participante cruza una línea específica. Los chips pasivos solo se pueden usar con sensores colocados en una alfombra porque no tienen una fuente de alimentación incorporada. Si bien es un dispositivo más especializado que algunos de los mencionados en esta recopilación, los chips RFID son un excelente ejemplo de nueva tecnología en los deportes (Xie, 2011).

Medición a partir de acelerómetros y giroscopios

Las unidades de medición inercial (IMU) representan una tecnología que está en auge en los deportes en este momento. La tecnología IMU se ha aplicado en algunas disciplinas, tales como salud ocupacional, industria del transporte, medicina y rehabilitación, entre otros. En los deportes, es una tecnología relativamente nueva para el seguimiento del movimiento, del tiempo y cinemática, a través de cargas externas e internas en deportes de equipo e individuales (Rojas-Valverde et al., 2019). La IMU se utiliza principalmente en dispositivos para medir la velocidad, orientación y fuerza gravitacional. Esta tecnología consiste en dos tipos de sensores: Acelerómetros y giroscopios. El acelerómetro se usa para medir la aceleración de inercia. Mientras que el giroscopio mide ángulos de rotación. Ambos sensores suelen tener tres grados de libertad para medir a partir de tres ejes. La tecnología IMU recientemente ha incluido otro sensor denominado magnetómetro que indica la orientación de movimiento del objeto evaluado (Alanen et al., 2021).

Últimamente, el desarrollo tecnológico de Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS) económicos y portátiles habilitó posibilidades de cuantificar cargas físicas con un método robusto incluso durante juegos o sesiones de entrenamiento en diferentes instalaciones deportivas. La mayoría de los dispositivos de rastreo específico para deportes hoy en día incluyen un IMU triaxial de nueve grados de libertad que contiene un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro dentro de un dispositivo de rastreo GPS. Aplicados en entornos interiores, estos dispositivos permiten el muestreo de datos basados en la aceleración en alta resolución durante actividades deportivas sin el apoyo de señales GPS. Para algunos deportes extraer datos relevantes de las señales del sensor en interiores sin la

ayuda de referencias externas es complicado debido a múltiples fuentes de ruido, principalmente por la aceleración de la gravedad terrestre. Por lo tanto, se propusieron varios enfoques para estimar la orientación del dispositivo de seguimiento con respecto al sistema de coordenadas terrestres, por ejemplo, algoritmos de fusión de sensores sin GPS (Roell et al., 2018).

Los acelerómetros se introdujeron por primera vez en las ciencias del deporte a principios del siglo XXI gracias al Proyecto 2.5 "Tecnología de comunicación para el seguimiento de atletas" llevado a cabo por el Centro Australiano de Investigación en Microtecnología para diseñar un dispositivo no intrusivo único para el seguimiento del deporte en tiempo real. Desde su aparición, ha habido un enorme desarrollo tecnológico, técnico y metodológico en el uso de la acelerometría para cuantificar la carga de trabajo externo en el deporte. La sensibilidad y la precisión de las variables basadas en la acelerometría son mayores en comparación con otros sistemas de seguimiento que subestiman las demandas de carga. Este fenómeno se debe a que las acciones estáticas de alta intensidad sin cobertura de terreno (saltos, colisiones, caídas, placajes, etc.) no pueden ser registradas por los sistemas de tiempo-movimiento, pero pueden medirse con gran precisión mediante acelerómetros (Vanwanseele et al., 2020).

Se ha desarrollado una gran cantidad de variables a partir de los datos registrados por este sensor. El análisis de esta información ha tendido a ser más complejo debido a que las diferentes empresas utilizan diferentes algoritmos para clasificar las acciones y esto limita la comparabilidad entre estudios. La variable más utilizada es "PlayerLoad™", diseñada por la empresa Catapult Sports. Esta variable fue creada para cuantificar la carga total a la que están expuestos los jugadores y se obtiene a partir de la aceleración en los tres ejes registrada por los acelerómetros, medida en unidades arbitrarias, con alta confiabilidad y validez. Se han creado otras variables con el mismo propósito, como la suma vectorial de aceleración utilizada por casi todas las empresas, Player Load producido por la empresa RealTrack Systems (Player LoadRT), Impulse Load creado por Zephyr, New Body Carga por GPS Sports, Player Load por el fabricante ZXY SportTracking (Player Load) y Total Load por StatSports (Gómez-Carmona et al., 2019).

Con base en lo anterior, el uso de acelerómetros para calcular el tiempo se efectúa por medio del cálculo de la velocidad media por integración de la aceleración vertical, horizontal

y lateral con respecto al tiempo (Zong y Wen, 2015). Lo anterior se denomina como un esquema de posicionamiento basado en acelerómetros, utilizado para rastrear objetos en ambientes interiores u exteriores. La idea principal del sistema es calcular el desplazamiento de un objeto transformando la información de un acelerómetro con base en las coordenadas originales de un objeto, la posición final podría estimarse de acuerdo con el desplazamiento direccional (Hsu y Yu, 2009)

Medición a partir de filmación

La realimentación en el deporte es crucial para reorientar los patrones de movimiento, la técnica y otros factores determinantes para la consecución de una ejecución motora más efectiva y eficiente. Para ello, entrenadores y atletas se mantienen activamente corrigiendo errores (Liebermann et al., 2002). En este sentido, las secuencias de video muestran más información que las imágenes fijas acerca de cómo los objetos y el entorno cambian con el tiempo. Los analistas del deporte realizan análisis con regularidad para obtener información estratégica y táctica sobre el comportamiento del jugador, atleta y del equipo (Lu et al., 2013). Los objetivos del análisis de los deportes de equipo suelen incluir la identificación de las debilidades de los equipos contrarios o la evaluación del rendimiento y el potencial de mejora de un equipo dirigido. Los flujos de trabajo de análisis actuales generalmente se basan en el análisis de videos del equipo. Además, los analistas pueden confiar en las técnicas de visualización de información para representar, por ejemplo, las trayectorias del jugador o la pelota. Sin embargo, el análisis de video suele ser un proceso lento, en el que el analista necesita memorizar y anotar escenas (Maggio y Cavallaro, 2011).

Finalmente, este sistema de medición de la filmación se ejecuta con base en el cálculo de la velocidad por tiempo conociendo la distancia. Esto se efectúa por medio de los cuadros por segundo del video, denominados fotogramas (Coleman y Lasky, 1992). La velocidad cuantificada por medio de video no requiere de una muy alta velocidad, de hecho, este tipo de cálculos se pueden procesar utilizando dispositivos móviles como lo son los celulares, los cuales graban a una velocidad de 60fps o hasta 120fps. Esta cantidad de cuadros por segundo, permite seleccionar el fotograma inicial y final para calcular el tiempo, actualmente se dispone de cámaras de alta velocidad que crean este cálculo de manera automática (Pueo, 2016).

Medición a partir de fotoceldas

Las fotocélulas de un solo haz se han utilizado comúnmente como un dispositivo de activación. Un par de fotocélulas de un solo haz consta de un transmisor que emite un haz infrarrojo a un reflector (ubicado directamente enfrente) que refleja el haz de regreso al transmisor. El problema con las fotocélulas de un solo haz es que este puede activarse temprano levantando las rodillas o balanceando los brazos, lo cual puede derivar en un error de medición (Haugen y Buchheit, 2016). Algunos autores mencionan que una altura inadecuada de las fotocélulas aumenta el error de conexión de un solo haz (Cronin y Templeton, 2008). Además, las fotocélulas montadas a la altura del pecho pueden provocar que los haces se rompan por diferentes segmentos corporales (Yeadon et al., 1999). Por ello, se recomienda colocar este tipo de instrumentos a la altura de la cadera o la cabeza, en donde se rompen dos veces solo en el 4 % de los casos (Yeadon et al., 1999).

En el caso de las fotocélulas de doble haz, estas se colocan a diferentes alturas, y ambos haces deben romperse para garantizar el tiempo de activación. Esta tecnología fue desarrollada por los problemas de los sistemas de un solo haz, por lo que es esperable una mayor precisión (Haugen y Buchheit, 2016). Por lo tanto, el cronometraje de doble haz es necesario para los científicos y profesionales que deseen obtener resultados precisos y fiables en "sprints" cortos.

Confiabilidad y concordancia de instrumentos científicos.

La confiabilidad y la concordancia de la tecnología utilizada en los equipos científicos es una de las características más importantes del equipo seleccionado para evaluar y controlar los indicadores de desempeño (Currell y Jeukendrup, 2008).

Los parámetros de confiabilidad evalúan si los objetos de estudio, a menudo personas, se pueden distinguir entre sí, a pesar de los errores de medición. En ese caso, el error de medida está relacionado con la variabilidad entre personas. En consecuencia, los parámetros de confiabilidad dependen en gran medida de la heterogeneidad de la muestra de estudio, mientras que los parámetros de concordancia, basados en el error de medición, representan una característica pura del instrumento de medición (Zaki et al., 2012a).

Se han elaborado numerosas técnicas o herramientas con el objetivo de encontrar un método más económico, no invasivo, más conveniente y seguro para evaluar a los deportistas. Es importante asegurarse de que las nuevas herramientas o métodos de medición sean tan precisos como el estándar de oro. Por lo tanto, es importante medir la concordancia de los nuevos métodos con el método estándar. El resultado significa la precisión de ese determinado instrumento (Zaki et al., 2012a).

Se han utilizado varios métodos estadísticos para probar la confiabilidad de instrumentos científicos con resultados cuantitativos o continuos (Altman y Bland, 1983). ¿Cuál método es el mejor? La respuesta a esta pregunta todavía está abierta a debate y casi todos los métodos utilizados han sido criticados. El viejo favorito para medir esto es el coeficiente de correlación (r) (Daly y Bourke, 2000). Sin embargo, esto obviamente es inapropiado, pues la correlación solo mide la fuerza de la asociación lineal entre variables. También se ha demostrado que el coeficiente de determinación (r^2), el coeficiente de regresión y la comparación de medias son formas inapropiadas de evaluar la concordancia. Esto fue discutido por Altman y Bland (1983), quienes concluyeron que los métodos utilizados para evaluar la concordancia no eran los apropiados. Esta conclusión ha sido respaldada por estudios más recientes (Daly y Bourke, 2000).

Bland y Altman (1983) propusieron un método para el análisis de la confiabilidad (gráfico de Bland-Altman y límites de la concordancia) y más tarde llamaron la atención de la profesión científica sobre esta área en su artículo. Afirmaron que es muy poco probable que dos métodos o instrumentos diferentes coincidan exactamente, o que den resultados idénticos para todos los individuos. Lo importante es cuán cerca están los pares de valores. Esto se debe a que una diferencia muy pequeña entre el valor predicho y el valor real probablemente no afecte las decisiones de manejo de los procedimientos. Desde entonces, su artículo recibió un gran número de citas en la literatura (Bland y Altman, 1986). Esto lleva a pensar que el método de Bland-Altman es el método estadístico más popular utilizado en estudios de confiabilidad, y que otros métodos ya no se utilizan en este tipo de investigación debido a que han pasado casi 30 años desde que apareció por primera vez el artículo original que promocionaba el nuevo método (Bland y Altman, 1986).

Se han considerado varios parámetros para demostrar y evaluar la confiabilidad. Entre los más populares se encuentran el coeficiente de variación (%CV), el error estándar de

estimación (SEE), la correlación producto-momento de Pearson (r), el error porcentual absoluto medio (MAPE), los límites de concordancia de Bland-Altman (LOA) y el cálculo de Lin y el Coeficiente de Concordancia (rC).

En resumen, las técnicas estadísticas más utilizadas para medir la consistencia de la prueba en el tiempo (confiabilidad) son el coeficiente de correlación intraclase (ICC) con el respectivo IC del 95 %, mismo que se debe confirmar mediante la correlación lineal entre las mediciones. El ICC se interpretará siguiendo los siguientes rangos propuestos por Kramer y Feinstein (1981): pobre 0, trivial 0.01-0.20, regular 0.21-0.4, moderado 0.41-0.6, sustancial 0.61-0.8 y casi perfecto: 0.81-1. El sesgo y la concordancia entre las mediciones se evaluarán mediante el método de representación gráfica de Bland y Altman con un IC del 95 % respectivo; se complementará el análisis de diferencias de medias entre mediciones mediante pruebas t (Pizarro et al., 2011).

Capítulo III

METODOLOGÍA

En este apartado se presenta la metodología que se llevó a cabo. Básicamente consiste en el diseño, proceso de prototipado y las pruebas de concordancia y confiabilidad elaboradas. Para lo anterior se desarrollaron los siguientes aspectos metodológicos.

Tipo y diseño de estudio

El estudio es de tipo descriptivo para determinar la concordancia y confiabilidad de un instrumento científico. Lo anterior implicó que se efectuaran mediciones repetitivas con el prototipo elaborado bajo diferentes condiciones, haciendo comparaciones de estas con datos de diferentes instrumentos comerciales similares para definir la concordancia; repitiendo el procedimiento en varias ocasiones, pero comparando los resultados del nuevo instrumento entre sí con el fin de decretar la confiabilidad del instrumento.

Participantes

El objeto de estudio en este caso fue el instrumento que se desarrolló, además de la descripción del proceso que logró diseñarlo y construirlo. Se elaboró un protocolo de medición en donde el prototipo se puso a prueba utilizando dos personas que activaban de forma secuencial y programada los sensores infrarrojos para poner en marcha o detener el cronómetro del sistema. Estas dos personas no se consideran participantes, pues no se les aplicó a ellos ninguna medición directamente. Solo sirvieron como asistentes de investigación activando y desactivando los sensores. Esto no implicó ningún riesgo para ellos o para cualquier otra persona que haya participado en el equipo investigador.

Instrumentos de medición

Se utilizó el dispositivo de control de intervalos de elaboración propia (Prototipo 1) para este estudio. Además, se utilizaron como parámetros de comparación el sistema alámbrico Newtest Powertimer (Newtest, Oulu, Finlandia), el sistema inalámbrico WICHRO

(Chronojump Boscosystem, Barcelona, España), y el sistema inalámbrico de luces FitLight Trainer (Miami, FL) para estandarizar las mediciones durante las pruebas de confiabilidad. Además, se utilizaron conos y cintas métricas.

Para las mediciones al aire libre se utilizó como elemento de medición una bicicleta eléctrica marca Kaizen (China) tipo montaña con aro de 26 pulgadas, motor de 350 W de potencia, con una velocidad máxima en terreno plano de aproximadamente 30 km/h y una autonomía según la topografía entre 35 a 95 km, además de una pista de atletismo sintética (NordicSport, Estocolmo, Suecia) aprobada por la Federación Internacional de Atletismo con todas sus dimensiones certificadas.

Procedimientos

A continuación, se describen las diferentes fases que se llevaron a cabo para alcanzar los objetivos propuestos en este estudio.

Fase 1: Revisión bibliográfica

Revisión bibliográfica para elaborar el marco teórico del estudio, así como para identificar las tecnologías existentes con el fin de escoger posteriormente las más apropiadas para el proyecto.

Fase 2: Conceptualización:

Se organizó una sesión de conceptualización, en la cual, desde lo general hasta lo específico, se visualizó el tipo de tecnología que se quería construir. Se definió su función, sus características y capacidades técnicas, lo que llevó a definir los diferentes componentes tecnológicos que se utilizaron en el ensamblaje.

Fase 3: Elaboración del algoritmo y del código fuente:

Basados en el concepto desarrollado para el prototipo, se elaboró el algoritmo que le dio control y guía al funcionamiento del nuevo sistema con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto. Posteriormente, usando de guía el algoritmo, se escribió el código fuente en lenguaje C++ que lo operacionalizó. Es importante indicar que se utilizó hardware y software libre desarrollado por la Fundación Arduino de Italia (Arduino, 2022, 2023). En el caso de los componentes electrónicos se adquirieron aquellos que presentaban un balance entre el costo y la funcionalidad de estos con respecto a las características del proyecto. Estos

componentes se adquirieron en tiendas de electrónica en Costa Rica y otros se trajeron desde Estados Unidos y México.

Fase 4: Prueba de módulos

Con base en el algoritmo se procedió a determinar los módulos o procesos en los que se dividió el diseño del prototipo. Después de lo anterior se procedió a efectuar un ensamble de hardware de cada módulo. Con un código fuente específico, se probó cada uno de ellos con el fin de entender los parámetros de funcionamiento y de calibración si lo requería. Cada módulo utilizó la placa electrónica UNO (ARDUINO) como microprocesador en donde se introdujo el código fuente escrito. Se probaron los módulos de comunicación, el de fotoceldas, el de cronómetro, el de fuente de poder, el de los botones y el de pantalla.

Fase 5: Ensamble y prueba del prototipo

En esta fase se integró todo el hardware a la placa electrónica. Además, los códigos fuentes de cada módulo se adaptaron a las especificaciones del algoritmo y se integraron en uno solo, y luego el código fue introducido en el microprocesador del ARDUINO UNO. A continuación, se ejecutaron pruebas del código, llevando a cabo los ajustes correspondientes para que el prototipo se fuera acercando a los parámetros requeridos de funcionamiento. Los parámetros mencionados fueron: a) Un sistema para medir intervalos en entrenamiento físico con desplazamientos horizontales elaborado con base en tecnología libre o abierta. b) Que el prototipo tuviera dos sensores de detección con fotoceldas infrarrojas, que fueran inalámbricas utilizando un protocolo de transmisión de radiofrecuencia. c) Que tuviera un módulo de control e integrador del sistema que en la práctica sería el que controle el entrenador, y sería el que efectúe el cálculo del tiempo de ejecución gracias a las señales de detección de los dos sensores. d) El sistema además debía tener un alcance de al menos 100 metros desde el sensor detector más lejano con respecto al módulo de control, lo anterior para que se pueda utilizar sin problema en una pista de atletismo o en una cancha de fútbol. e) Debía contar con fuente de energía propia como baterías y que estas suministraran energía a los sensores durante la duración de todas las pruebas. f) El sistema debía funcionar en ambientes tanto al aire libre como bajo techo. El prototipo se programó para que el cronómetro iniciara en cero cuando el elemento de medición (una bicicleta eléctrica o una persona) pasara por el primer sensor y el tiempo se detuviera cuando se pasaba por el segundo

sensor. Se procedió a probar en el laboratorio el sistema totalmente ensamblado para cerciorarse que de forma preliminar funcionaba de manera adecuada.

Fase 6: Proceso de concordancia y confiabilidad

Proceso de concordancia: Se iban a organizar tres sesiones de recolección de datos en la pista de atletismo de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida de la Universidad Nacional. Lo anterior se programó para la tercera semana del mes de febrero del 2023. En la primera sesión y al intentar instalar los equipos, se presentaron algunos inconvenientes de tipo ambiental. El primero, ráfagas de viento muy fuertes que no permitían que ningún equipo se mantuviera en pie o en la posición adecuada. Además, no había ningún tipo de nubosidad por lo que la luminosidad solar era muy alta. Lo anterior pareciera que afectó la capacidad de detección de los sensores de los tres sistemas, pues la radiación infrarroja solar puede afectar la intensidad de los rayos generados por las fotoceldas y errar así la medición. Adicionalmente, se observó que la radiación solar elevó considerablemente la temperatura de los componentes electrónicos lo que pudo también afectar el buen funcionamiento de estas tecnologías. En esas condiciones tanto el prototipo como los equipos comerciales a utilizar comenzaron a fallar de diferentes formas. Se intentó realizar las pruebas en otra locación diferente a la pista de atletismo y resultó igual. Se suspendió esa sesión para esperar que al día siguiente las condiciones cambiaran y no fue así. De hecho, esa condición atmosférica se mantuvo por casi una semana. A raíz de lo anterior se tomaron una serie de decisiones que variaron considerablemente el protocolo para determinar la confiabilidad y la concordancia del prototipo. El primer cambio fue en el hardware, pues se sustituyó la fotocelda infrarroja del prototipo por una menos sensible a la luz, y con mayor alcance. Por suerte se contaba con un sensor mejor y su instalación al prototipo no fue complicada y el cambio en el código fuente resultó ser sencillo.

La otra modificación importante al protocolo original fue el cambio de la locación de las pruebas. Para lo anterior se decidió ejecutar las pruebas bajo techo, específicamente en el Gimnasio Multiuso de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida de la Universidad Nacional. De esa forma se protegerían los sistemas de perturbaciones ambientales. Esa decisión se hizo siendo conscientes de que los resultados de las pruebas serían válidos exclusivamente para condiciones bajo techo y no al aire libre. Con lo aprendido

hasta ese momento se visualizó que para la fabricación del prototipo 2 debían hacerse las modificaciones de hardware especialmente para que se pueda probar al aire libre.

La única prueba que se llevó a cabo al aire libre fue la del alcance de la transmisión de datos, que se efectuó en un lugar plano y sin obstáculos, específicamente en la calle principal de entrada del campus Benjamín Núñez de la Universidad Nacional, en Lagunilla de Heredia. El nuevo protocolo elaborado para las pruebas de confiabilidad bajo techo se presentó al tutor y a los asesores de la tesis para obtener sus recomendaciones y aprobación. Se utilizó una cancha bajo techo de material sintético de 32 metros de largo.

El protocolo consistió en colocar dos grupos de sensores a 30 metros uno del otro en línea recta y sin obstáculos. Las unidades receptoras de datos de los tres sistemas se colocaron sobre una mesa en la mitad de la distancia, es decir, a 15 metros de ambos grupos de sensores. Cada grupo de sensores consistía en tres fotoceldas pertenecientes a cada uno de los sistemas utilizados (Prototipo 1, Chronojump y Newtest). Estos sensores se colocaron en una misma línea vertical, colocando el Prototipo 1 aproximadamente a 95 cm. del suelo, el Newtest a 100 cm, el Chronojump a 110 cm. Esta disposición se hizo para evitar que, si un segmento del cuerpo del ejecutante se adelantara al resto del cuerpo, cruzaría los tres rayos infrarrojos al mismo tiempo. Lo anterior en contraposición al protocolo original que proponía colocarlos con distanciamiento horizontal de 50 cm cada uno. En las pruebas piloto se determinó que esta práctica podía causar errores de medición si se adelantaba un segmento corporal y activara solo uno de los tres sensores de forma anticipada.

Para ejecutar las pruebas se denominó a cada grupo de sensores “puerta 1” y “puerta 2”, en donde en la puerta 1 había un asistente de investigación que cuando se le daba una señal verbal pasaba por el grupo de sensores iniciando el funcionamiento de los tres cronómetros, para después regresar por detrás a su posición inicial. Posteriormente en la puerta 2 había otro asistente esperando otra señal verbal para pasar por ese grupo de sensores deteniendo los cronómetros y regresando por detrás a la posición de inicio. Con esta metodología se daba una pausa entre el paso por los sensores de la puerta 1 y los de la puerta 2. Se utilizaron 3 tiempos para esas pausas, aproximadamente 2 segundos, 5 segundos y 12 segundos. Se indica que estas pausas fueron “aproximadas”, pues no era un tiempo exacto, ya que se pretendía darle cierta variabilidad a cada intervalo para determinar si pese a las pequeñas variaciones las 3 mediciones se mantenían homogéneas entre sí. Se llevaron a cabo 35 repeticiones de la

metodología descrita por cada tiempo de intervalo. Esta metodología se utilizó para mantener constante la distancia entre los sensores y la unidad de control durante las pruebas, y además con eso se evitó la fatiga de los asistentes de investigación al tener que caminar menos.

Proceso de confiabilidad: Para llevar a cabo este objetivo, se utilizó el mismo procedimiento descrito para determinar la concordancia. Sin embargo, la diferencia fundamental entre ambas pruebas fue el hecho de que las mediciones de tiempo se hicieron solo con el prototipo 1 desarrollado por el investigador, pues en el proceso de análisis de datos se compararon los resultados de varias mediciones del prototipo con ellas mismas, para saber si eran concordantes y confiables. El otro elemento diferenciador fue el hecho que los intervalos fueron exactos, utilizando para eso un sistema inalámbrico de luces programable FitLight Trainer (Miami, Florida, Estados Unidos). Este sistema es posible programarlo para que encienda una luz (puerta 1) y luego una segunda (puerta 2) en el intervalo que se escoja, haciendo que la repetición entre un intento y otro tenga exactamente la misma duración.

Con lo anterior quedaron solo dos variables sin controlar, una era el tiempo de reacción de los dos ejecutantes, y la segunda era la variabilidad que podría tener el prototipo en caso de no ser confiable. Si pese al efecto de combinar las dos variables mencionadas, los resultados son confiables estadísticamente hablando, se estaría ante un equipo muy confiable. Los intervalos que se programaron fueron de 1,5 segundos, 6 segundos y 15 segundos. En total se llevaron a cabo dos sesiones de recolección de datos. Una a las 9:00 horas y la otra a las 14:00 horas del mismo día. En cada sesión se hicieron 35 mediciones con un intervalo de 1,5 segundos, 35 con 6 segundos y 35 con 15 segundos, para luego comparar ambas mediciones.

Análisis estadístico

Para los datos obtenidos en las dos pruebas se aplicó estadística descriptiva, y se utilizó Shapiro-Wilk para verificar normalidad, confirmando con lo anterior la factibilidad de utilizar la estadística paramétrica. Los datos se agruparon por sesión y por intervalo. Los datos se presentan como media y desviación estándar. La concordancia y la confiabilidad del prototipo se evaluó mediante el coeficiente de correlación intraclase (ICC) con el respectivo Intervalo de Confianza (IC) del 95 %, y se confirmó mediante la correlación lineal de Pearson entre las mediciones. El ICC se interpretó siguiendo los rangos propuestos anteriormente

como: El ICC se interpretará siguiendo los siguientes rangos propuestos por Kramer y Feinstein (1981): pobre 0, trivial 0.01-0.20, regular 0.21-0.4, moderado 0.41-0.6, sustancial 0.61-0.8 y casi perfecto: 0.81-1 (Kramer y Feinstein, 1981). Las diferencias y la concordancia entre las mediciones se evaluaron mediante el método de representación gráfica de Bland-Altman con un IC del 95 % respectivo.

El ICC y el método Bland-Altman se aplicó a grupos de datos generados en la prueba de concordancia comparando los diferentes sistemas. De igual manera para determinar la confiabilidad, se aplicaron los mismos procedimientos estadísticos mencionados anteriormente comparando los grupos de datos generados solo por el prototipo 1. Los análisis estadísticos se ejecutaron utilizando un software estadístico (v.24, Statistic Package Social Sciences, Chicago, IL). Se utilizó en todos los procedimientos un intervalo de confianza de 95 %.

Capítulo IV

RESULTADOS

Este apartado tiene tres partes, en la primera se indican los componentes electrónicos escogidos para construir el prototipo, en la segunda se presentan los análisis estadísticos desarrollados a los resultados obtenidos en las pruebas de concordancia y confiabilidad que se le efectuaron, y en la tercera se informa sobre el resultado de la prueba de transmisión inalámbrica en línea recta y sin obstáculos de por medio a la que se sometió el Prototipo 1.

Componentes electrónicos del prototipo

Después de consideraciones técnicas orientadas por el algoritmo desarrollado, y por los requerimientos técnicos que se solicitaron para la construcción del prototipo, es que se utilizaron los siguientes componentes electrónicos para alcanzar ese fin.

Plataforma tecnológica: Placa ARDUINO UNO (Fundación Arduino, Italia), se programó su microprocesador (ATmega 328R, Atmel) por medio del software libre Arduino IDE (Fundación Arduino, Italia) utilizando el lenguaje computacional denominado C++. Esta placa funciona con un voltaje entre los 5 a los 12 voltios, pero su salida de electricidad para alimentar otros componentes es de 5 voltios. Su precio en el mercado costarricense es aproximadamente de \$15 dólares.

Fuente de energía: Cada parte del prototipo se energizó por medio de un paquete de dos baterías de litio 18650, con una capacidad de 3,7 voltios por cada de batería, para un total de 7,4 voltios. Estas baterías junto con sus monturas se compraron en Costa Rica por un monto aproximadamente de \$10 dólares.

Módulo de comunicación: Se utilizó un módulo de radio-frecuencia denominado HC-12 (Tyco Electronics, Estados Unidos) por considerarlo el óptimo para los requerimientos solicitados. Este dispositivo tiene un tamaño pequeño, especialmente su antena, la cual es un resorte, es receptor y emisor a la vez, funciona en un ancho de banda amplio (433-470MHz), tiene un alcance de hasta 1500 metros, es fácil de programar y con un precio razonable cercano a las \$10 dólares. Funciona con un voltaje de 5 voltios. Estos componentes fueron

adquiridos en Estados Unidos. Para probar este módulo se conectaron tres placas Arduino UNO y se transmitieron y recibieron datos entre ellas.

Fotocelda infrarroja de detección: Se utilizó un componente GP2Y0A21 (Sharp, Estados Unidos) para detectar a la persona que pasaba por el punto de inicio de la medición de tiempo (puerta 1), y por el punto de finalización de la medición (puerta 2). Este sensor es pequeño, fácil de conectar a la placa Arduino Uno y con un costo aproximado de \$10 dólares. Se compraron en Costa Rica. Este componente funciona con un voltaje entre 4,5 a 5,5 v y tiene un alcance de detección entre 10 a 80 centímetros. En un principio se consideró óptimo para lo que se requería. Tiene la limitante de que su funcionamiento no es óptimo al aire libre si hay mucha radiación lumínica, pues esta puede diseminar el haz infrarrojo producido por el sensor, por lo que pierde efectividad en la medición.

Cronómetro: La medición de tiempo en este prototipo se hizo utilizando los osciladores de cristal de cuarzo que tiene la placa Arduino, específicamente los HC-49s. Dentro de la programación interna del microprocesador del Arduino, existe una rutina programada que inicia desde 0 con un conteo de tiempo desde el momento en que se enciende la placa. Para el prototipo desarrollado, en su código fuente se programó para leer ese contador. Con funciones matemáticas simples se determinó el tiempo transcurrido entre los dos puntos de contacto con las fotoceldas.

En los sistemas electrónicos es vital la medición del tiempo para coordinar una serie de funciones propias de su correcto funcionamiento. Para lo anterior comúnmente se utiliza una propiedad física de algunos materiales como los cristales de cuarzo. Al hacer recorrer una corriente eléctrica por el cristal, este produce una resonancia mecánica (vibración) que es constante sin importar el voltaje eléctrico, y esta resonancia produce una señal eléctrica con una frecuencia precisa. Esta señal se usa para medir el tiempo. De ese mecanismo es que se generan los llamados “relojes de cuarzo”. A estos componentes se les conoce con el nombre de “osciladores de cristal”. Para el prototipo elaborado, tal y como se indicó, se utilizó el oscilador de cristal que posee la misma placa Arduino Uno que es de 16 MHz.

Pantalla de datos: Se utilizó una pantalla de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés) modelo 1602A de 2 filas de 16 caracteres cada una (Crystalfontz America, Inc., Estados Unidos). Esta pantalla es capaz de convertir señales eléctricas en información visual que puede ser leída y entendida por el usuario. Para facilitar su conexión con la placa Arduino

Uno se le adaptó un módulo I2C que mediante un protocolo de comunicación del mismo nombre es capaz de conectar y programar el dispositivo con solo dos conexiones y no con las 16 que originalmente trae el 1602A. Estos dos componentes se compraron en Costa Rica por un valor cercano a los \$10 dólares.

Pulsadores o botones: El pulsador o botón es un componente que permite el paso de una corriente eléctrica cuando es pulsado, generando una señal digital (Yixisi, China). Una vez se deja de presionar vuelve a su posición inicial. Esta señal puede ser utilizada por un sistema electrónico para iniciar o finalizar un proceso. En el caso del prototipo presentado, en el código fuente se programó para que el botón azul encienda las fotoceldas tanto en la puerta 1 como en la 2 para medir el tiempo. El botón rojo se usa para reinicializar el proceso poniendo el cronómetro en 0 para la siguiente medición. Estos botones tienen unas dimensiones de 12 x 12 x 7.3 mm y fueron comprados en Costa Rica con un costo aproximado por cada uno de \$0,2 dólares.

Análisis estadístico de los resultados obtenidos en las pruebas de concordancia y confiabilidad

Los datos de las pruebas de concordancia y confiabilidad se presentan con su respectiva media y desviación estándar. Se aplicaron los mismos métodos estadísticos para ambas pruebas. Para confirmar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro Wilk, verificando la factibilidad de utilizar estadística paramétrica. La consistencia de la prueba a lo largo del tiempo se evaluó mediante confiabilidad utilizando el coeficiente de correlación intraclase (ICC) con el respectivo IC del 95 % y se confirmó mediante la correlación lineal (r Pearson) entre las mediciones. El ICC se interpretó siguiendo los rangos propuestos previamente como 0 pobre, 0.01-0.2 trivial, 0.21-0.4 regular, 0.41-0.6 moderado, 0.61-0.8 sustancial y 0.81-1 casi perfecto (Kramer y Feinstein, 1981). La diferencia y la concordancia entre las mediciones se evaluaron mediante el método de representación gráfica de Bland-Altman con un IC del 95 % respectivo. Todas las pruebas se ejecutaron siguiendo pautas previas para pruebas de concordancia y confiabilidad (Kottner y Streiner, 2011; Zaki, Bulgiba, Ismail, y Ismail, 2012). Se consideraron diferencias estadísticas si la $p \leq 0,05$. Los análisis estadísticos se desarrollaron utilizando un software especial (v.24, Statistic Package

Social Sciences, Chicago, IL). Las figuras se confeccionaron utilizando una calculadora de estadísticas en línea (DataTab Team, Graz, Austria).

Concordancia entre los equipos

- a. Prueba intervalo de 2s:** El ICC entre los tres equipos en la prueba 2s fue 0.89. Los valores medios de la prueba de 2s se muestran en la Tabla 1. Todos los valores de ICC encontrados se interpretaron como casi perfectos (consultar la Tabla 2). Los gráficos de dispersión de las correlaciones de Pearson y los gráficos Bland-Altman se presentan en la Figura 1.

Tabla 1. Estadística Descriptiva Prueba Concordancia (2s)

Equipo	N	Media (segundos)	D.S.
CronoJump I. 2s	35	1.86	0.121
Prototipo 1 I. 2s	35	1.886	0.137
Newtest I. 2s	35	1.856	0.12

Nota: Prueba Concordancia para los tres sistemas de medición.

Tabla 2. Concordancia Prueba 2s

Equipo	N	ICC; <i>rating</i> (<i>p-value</i>)	<i>r</i> (<i>p-value</i>)	95% IC	BIAS (segundos)	95% IC; <i>LI;LS</i>
CronoJump Prototipo 1	35	0.88; casi perfecto (≤ 0.01)	0.89 (≤ 0.01)	0.78-0.94	-0.03	-0.15; 0.01
CronoJump NewTest	35	0.88; casi perfecto (≤ 0.01)	0.88 (≤ 0.01)	0.78-0.94	0	-0.11; 0.12
Prototipo 1 NewTest	35	0.91; casi perfecto (≤ 0.01)	0.92 (≤ 0.01)	0.83-0.95	0.03	-0.08; 0.14

Nota: Concordancia Prueba 2s para los tres sistemas de medición.

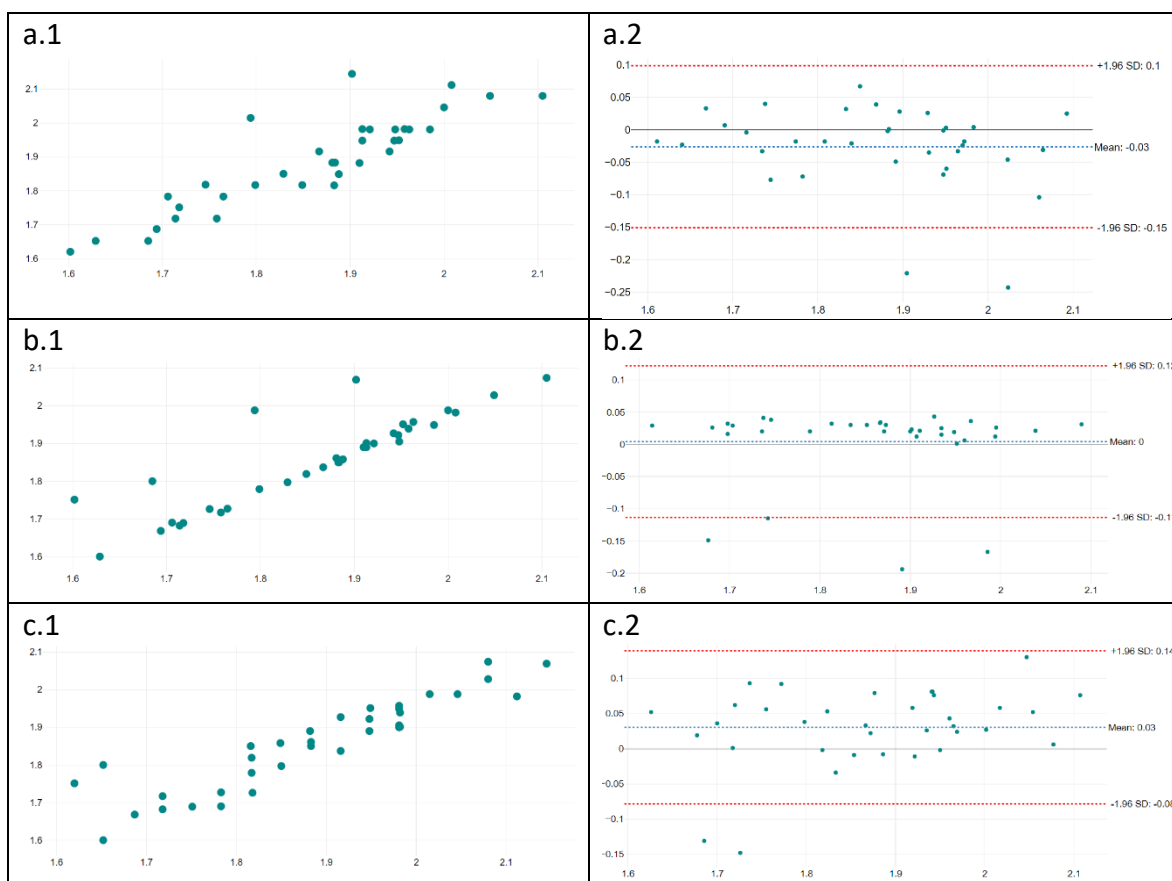


Figura 1. Correlación de Pearson y Gráfico Bland-Altman para test con intervalo de 2s: a.1-a.2: CronoJump vs Prototipo, b.1-b.2.: CronoJump vs NewTest, c.1.-c.2: Prototipo 1 vs NewTest.

b. Prueba Intervalo de 5s: El ICC entre los tres equipos en la prueba 5s fue de 0,99. Los valores medios de la prueba 5s se muestran en la Tabla 3. Todos los valores de ICC encontrados se interpretaron como casi perfecto (ver Tabla 4). Los gráficos de dispersión de las correlaciones de Pearson y gráficos Bland-Altman se presentan en la Figura 2.

Tabla 3. Estadística Descriptiva Prueba Concordancia (5s)

Equipo	N	Media (segundos)	D.S.
CronoJump I. 5s	35	6.343	0.446
Prototipo 1 I. 5s	35	6.378	0.446
Newtest I. 5s	35	6.331	0.441

Nota: Prueba Concordancia para los tres sistemas de medición.

Tabla 4. Concordancia Prueba 5 s.

Equipo	n	ICC; <i>rating (p-value)</i>	<i>r (p-value)</i>	95% <i>IC</i>	BIAS (segundos)	95% <i>IC</i> ; <i>LI;LS</i>
CronoJump – Prototipo 1	35	0.99; casi perfecto (≤ 0.01)	0.99 (≤ 0.01)	0.99- 0.99	-0.04	-0.09; 0.02
CronoJump – NewTest	35	0.99; casi perfecto (≤ 0.01)	0.99 (≤ 0.01)	0.99- 1	0.01	-0.02; 0.04
Prototipo 1 – NewTest	35	0.99; casi perfecto (≤ 0.01)	0.99 (≤ 0.01)	0.99- 0.99	0.05	-0.02; 0.11

Nota: Concordancia Prueba 5s para los tres sistemas de medición.

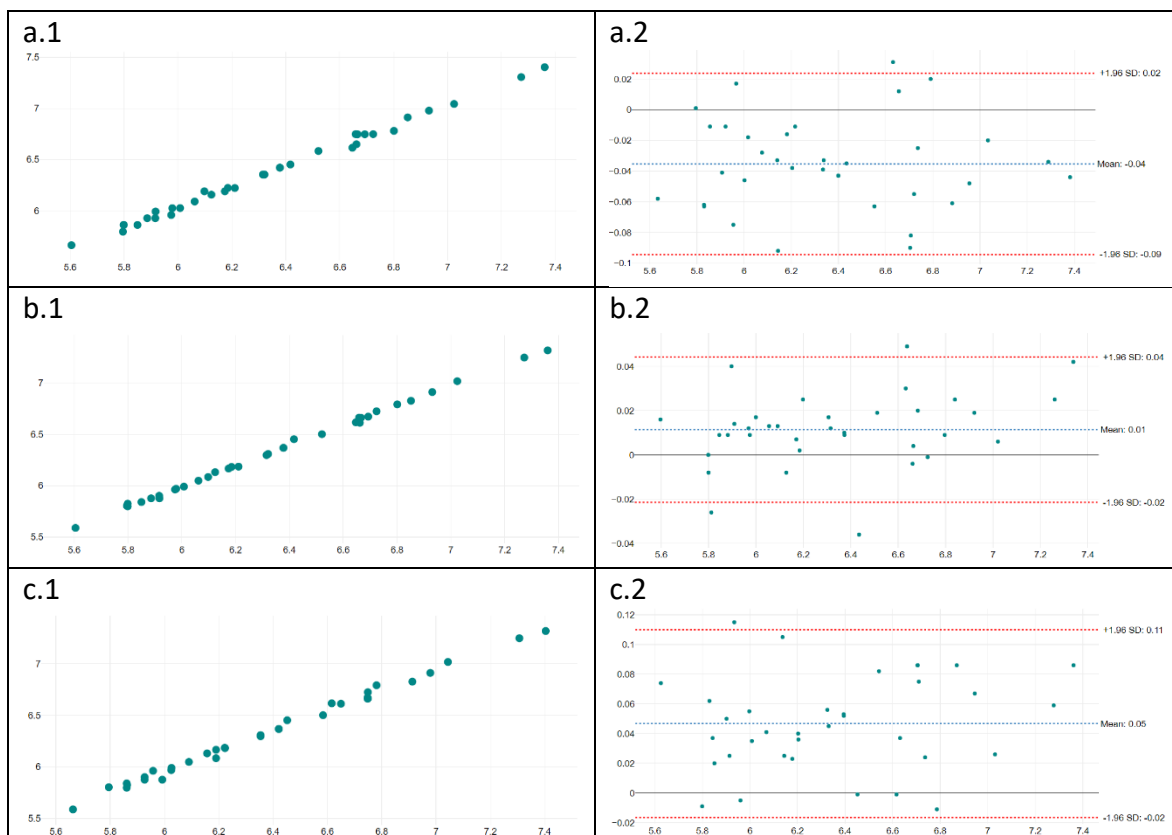


Figura 2. Correlación de Pearson y Gráfico Bland-Altman para test con intervalo de 5s: a.1-a.2: CronoJump vs Prototipo, b.1-b.2.: CronoJump vs NewTest, c.1.-c2: Prototipo 1 vs NewTest.

c. Prueba Intervalo de 12s: El ICC entre los tres equipos en la prueba 12s fue de 0,99. Los valores medios de la prueba de 12s se muestran en la Tabla 5. Todos los valores de ICC encontrados se interpretaron como casi perfectos (ver Tabla 6). Los gráficos de dispersión de las correlaciones de Pearson y gráficos Bland-Altman se presentan en la Figura 3.

Tabla 5. Estadística Descriptiva Prueba Concordancia (12s)

Equipo	N	Media (segundos)	D.S.
CronoJump I. 12s	35	11.616	0.401
Prototipo 1 I. 12s	35	11.629	0.392
Newtest I. 12s	35	11.589	0.398

Nota: Concordancia Prueba 12s. para los tres sistemas de medición.

Tabla 6. Concordancia Prueba 12s

Equipo	n	ICC; <i>rating</i> (<i>p</i> - <i>value</i>)	r (<i>p</i> - <i>value</i>)	95% IC	BIAS (segundos)	95% IC; LI;LS
CronoJump – Prototipo 1	35	0.99; casi perfecto(≤ 0.01)	0.99 (≤ 0.01)	0.99- 0.99	-0.01	-0.09; 0.06
CronoJump – NewTest	35	0.99; casi perfecto(≤ 0.01)	0.99 (≤ 0.01)	0.99- 1	0.03	0; 0.06
Prototipo 1 – NewTest	35	0.99; casi perfecto(≤ 0.01)	0.99 (≤ 0.01)	0.99- 0.99	0.04	-0.04; 0.12

Nota: Concordancia Prueba 12s. para los tres sistemas de medición.

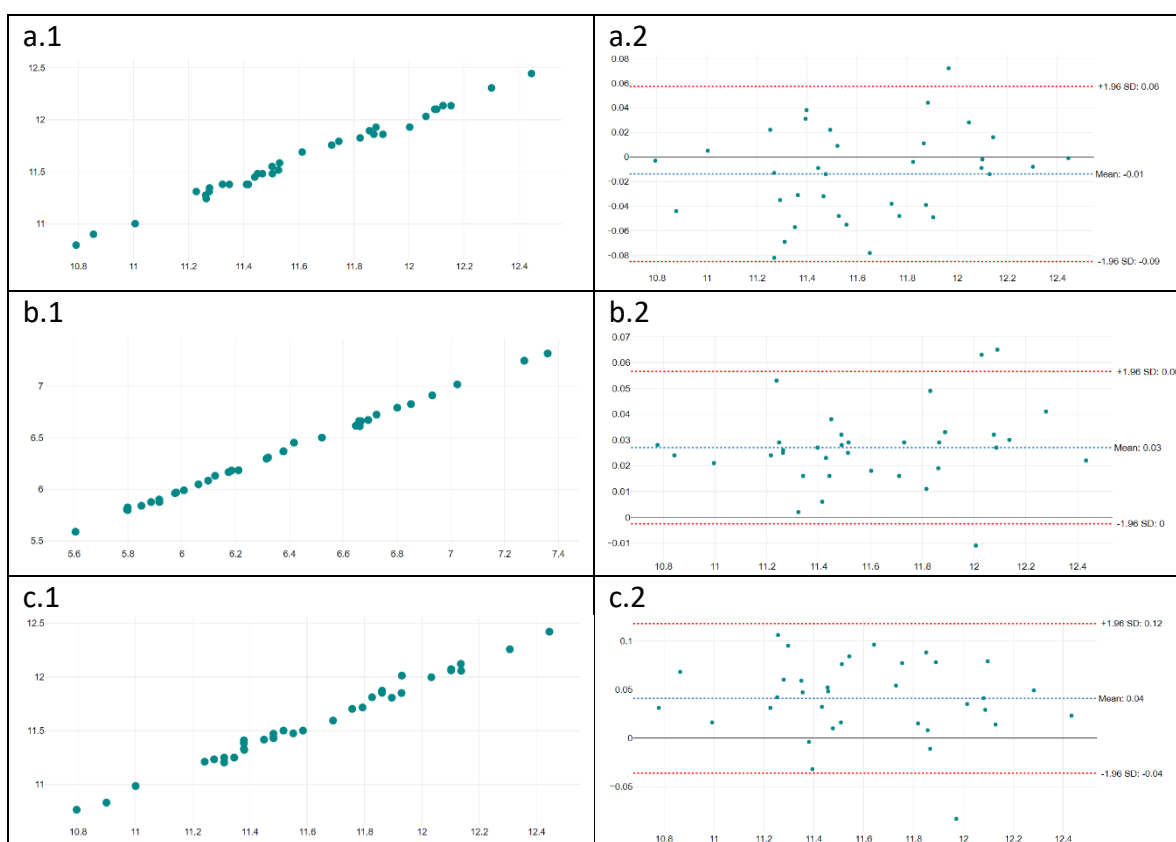


Figura 3. Correlación de Pearson y Gráfico Bland-Altman para test con intervalo de 12s: a.1-a.2: CronoJump vs Prototipo, b.1-b.2.: CronoJump vs NewTest, c.1.-c2: Prototipo 1 vs NewTest.

2. Confiabilidad del Prototipo 1

Los valores medios de cada prueba se muestran en la Tabla 7. Todos los valores de ICC encontrados se interpretaron como casi perfectos y las diferencias encontradas como moderadas a grandes. La información mencionada se puede observar en la Tabla 8. Los gráficos de dispersión de las correlaciones de Pearson y los gráficos Bland-Altman se presentan en la Figura 4.

Tabla 7. Estadística Descriptiva Prueba Confiabilidad para Prototipo 1

Equipo	N	Media (segundos)	D.S.
Prueba 1 Int. 1.5s	35	1.694	0.048
Prueba 2 Int. 1.5s	35	1.705	0.066
Prueba 1 Int. 6s	35	6.064	0.037
Prueba 2 Int. 6s	35	6.141	0.037
Prueba 1 Int. 15s	35	15.02	0.04
Prueba 2 Int. 15s	35	15.109	0.046

Nota: Prueba Confiabilidad del Prototipo 1 para los intervalos de 1.5s, 6s y 15s.

Tabla 8. Prueba de Confiabilidad del Prototipo 1

Tiempo de la prueba	n	ICC; <i>rating</i> (<i>p-value</i>)	r (<i>p-value</i>)	95% IC	BIAS (milésimas)	95% IC; <i>LI;LS</i>
Prueba 1.5s	35	0.91; <i>casi perfecto</i> (≤ 0.01)	0.95 (≤ 0.01)	0.83- 0.95	-11.34	-59.83; 37.14
Prueba 6s	35	0.81; <i>casi perfecto</i> (≤ 0.01)	0.81 (≤ 0.01)	0.65- 0.90	-77.09	-123.13; -31.05
Prueba 15s	35	0.94; <i>casi perfecto</i> (≤ 0.01)	0.95 (≤ 0.01)	0.88- 0.97	-88.6	-118.89; -58.31

Nota: Confiabilidad del Prototipo 1 para los intervalos 1.5s, 6s. y 15s.

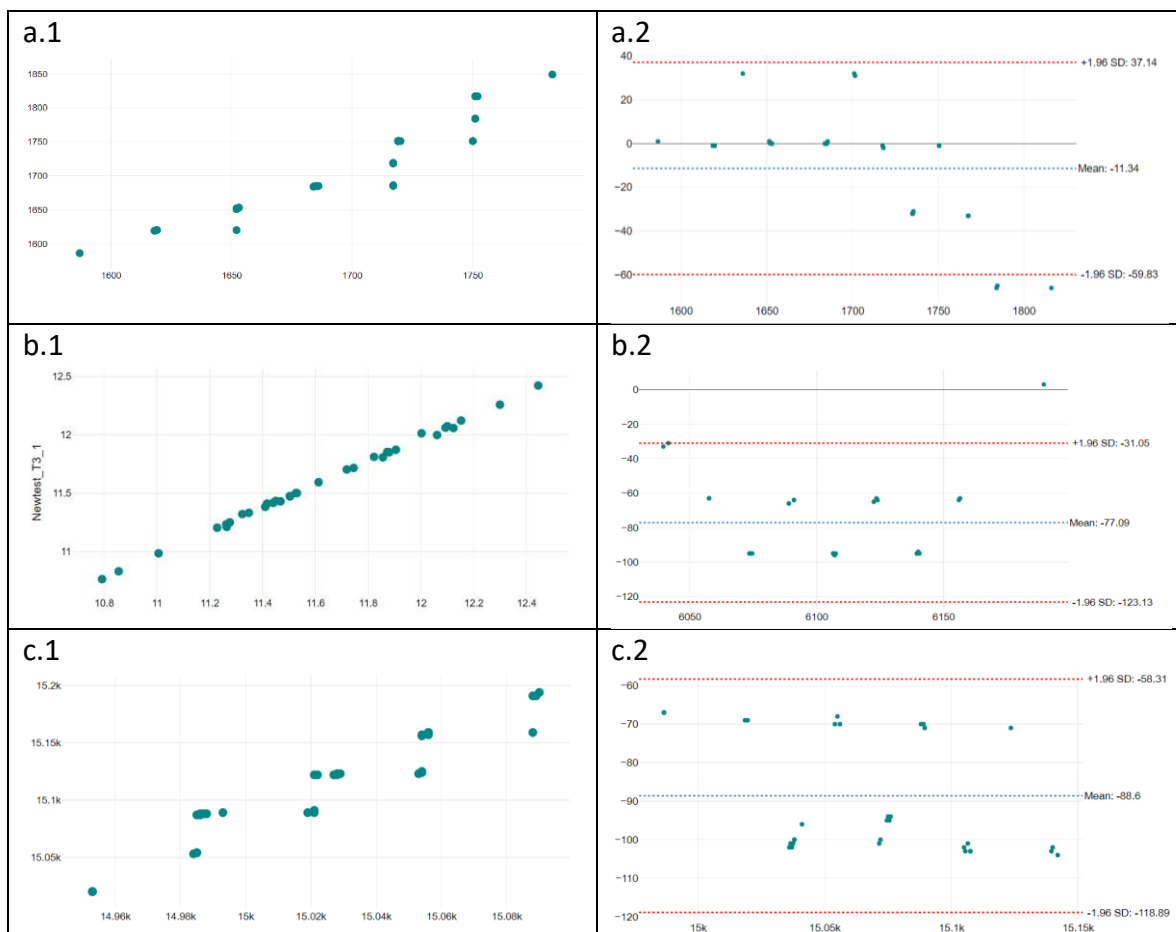


Figura 4. Correlación de Pearson y Gráfico de Bland Altman de cada test-retest del Prototipo 1. a.1.-a.2.: Prueba 1.5s, b.1.-b.2.: Prueba 6s, c.1.-c.2.: Prueba 15s.

Prueba de transmisión inalámbrica

Para realizar esta prueba se ubicó el módulo de control en un punto fijo en una calle recta y plana de aproximadamente 400 metros de largo. Se fue alejando el sensor 1 del punto en donde se colocó el módulo de control y cada 50 metros se hizo una activación del sensor obteniendo en el módulo una señal que iniciaba el cronómetro en la pantalla. Se repitió el proceso hasta alcanzar los 300 metros con una comunicación efectiva. Se decidió dejar la prueba en esa distancia, pues los requerimientos iniciales solo pidieron 100 metros de transmisión inalámbrica. Con esa distancia de transmisión lograda, eventualmente cuando se construya el Prototipo 2, el cual se mejorará para poder hacer mediciones confiables al aire libre, se iniciarán sus pruebas de concordancia y confiabilidad con seguridad de que podrá cubrir sin problema las distancias existentes dentro de una pista de atletismo reglamentaria.

Capítulo V

DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos durante el proceso de prototipado, así como los resultados obtenidos producto de la aplicación de las pruebas para determinar la concordancia y confiabilidad del Prototipo construido.

Proceso de prototipado

Plataforma tecnológica: Como se describió en la metodología, se partió del algoritmo diseñado para construir el prototipo. El diseño se llevó a cabo construyendo diferentes módulos con diferentes utilidades que integrados lograron desarrollar el prototipo que cumplió con la mayoría de los parámetros de funcionamiento requeridos. La primera decisión tomada, la cual era parte de los requerimientos, fue utilizar hardware y software libre. Para lo anterior había que decidir que plataforma tecnológica utilizar a nivel de hardware. Había en el mercado costarricense dos opciones que son de las más populares a nivel mundial, la placa Arduino UNO (Fundación Arduino, Italia) y la placa Raspberry Pi3 (Fundación Raspberry, Inglaterra). La primera es más barata pero menos potente que la Raspberry, sin embargo, el desarrollo de sensores y actuadores, así como de códigos de programación son mucho mayores en las Arduino que en la Raspberry, además de ser más económicos.

Se evaluó el nivel de requerimiento de procesamiento de información del proyecto y se determinó que la placa Arduino tenía suficiente capacidad de procesamiento para desarrollar el prototipo. Por esas razones se decidió utilizar la plataforma Arduino UNO que condiciona el lenguaje computacional a utilizar para escribir el código de instrucciones, en este caso el lenguaje C++ que es el que el ambiente Arduino utiliza. Para programar los microprocesadores de las placas Arduino se utilizó el software denominado Arduino IDE (Fundación Arduino, Italia), que es gratuito, que “compila” los códigos escritos en C++ y posteriormente se encarga de programar los microprocesadores de las placas Arduino con esas instrucciones. Una vez definida la plataforma tecnológica a utilizar, se procedió a buscar diferentes componentes entre sensores y actuadores que por módulo logren hacer que se

alcancen los requerimientos de cada uno. Adicionalmente a la escogencia de la placa por utilizar, es importante recalcar que junto con la placa Arduino Uno se incluye el oscilador de cuarzo de 16 MHz que se utilizará como cronómetro para las mediciones de tiempo.

Fuente de energía: El sistema fue requerido para funcionar con una fuente de energía propia, lo anterior para poder moverlo con libertad y que no estuviera limitado a cables o la disponibilidad de tomacorrientes en el lugar de las mediciones. Se decidió utilizar baterías. La placa Arduino UNO puede funcionar con voltajes entre los 5 hasta los 12 voltios. Se analizó el uso de baterías comerciales tipo AA o AAA de 1,5 voltios. Al conectar cuatro de ellas en serie se obtenían 6 voltios, suficiente para dar energía a la placa. Sin embargo, se tiene claro que el amperaje y duración de estas baterías es bajo, y en muchos casos no tienen una composición química que les permita ser recargadas. Siendo así se valoraron otras opciones como las baterías de litio denominadas 18650. Estas baterías, ligeramente más grandes que una AA, tienen un voltaje de 3,7 voltios, con amperajes altos, con una larga duración y con capacidad de ser recargables. Cada una de ellas tiene un costo alrededor \$6 dólares. Con dos de ellas fue suficiente para darle el voltaje requerido a la placa Arduino UNO. Estas baterías no se comercializan de forma masiva porque simplemente sacarían del mercado a las clásicas AA y AAA que al lado de las 18650, tienen una duración mínima lo que produce que el consumidor este constantemente comprando unidades. El uso de este tipo de acumulador de energía es más industrial. Un ejemplo de lo anterior es la marca de vehículos eléctricos Tesla, la cual utiliza celdas de energía formadas por aproximadamente 7500 baterías 18650 para darle poder a sus unidades.

Módulo de comunicación: El sistema tenía el requerimiento de ser inalámbrico entre todos sus componentes. Por lo tanto, el módulo de comunicación se diseñó con esa tecnología. Su objetivo es transmitir información entre las partes del prototipo. Para ello se llevó a cabo una búsqueda de opciones y se determinó que había tres protocolos de comunicación disponibles, el WIFI, el Bluetooth y la Radio-frecuencia. Los dos primeros son protocolos muy usados actualmente y muy robustos pues pueden transmitir y recibir una cantidad muy grande de información como pueden ser fotografías o videos. La limitante principal que tienen es que ambos presentan un alcance de transmisión muy corto, quizás 10 metros de distancia, y para los requerimientos del prototipo era necesario un alcance mayor. Por ejemplo, para poder operar de forma inalámbrica en una cancha de fútbol con alcances

mayores a los 100 metros. El tercer protocolo, la Radio-frecuencia no permite transmitir mucha información a la vez, pero si tiene un alcance de transmisión inclusive de varios kilómetros de distancia.

En el caso del prototipo desarrollado, la transmisión de datos es muy simple, pues lo que se requiere es el envío de números de un dígito, así que no importa la cantidad de “bytes” que se puedan enviar por segundo. Más importante aún es la velocidad con la cual ese dato se transmite a través del aire. Siendo así, es este último el protocolo que se escogió para construir el módulo de comunicación. Dentro de la tecnología disponible y compatible con la placa Arduino, se revisaron diferentes opciones con precios distintos, con hardware de diferente tamaño y con capacidades de transmisión distintas. Entre todas las opciones identificadas, se determinó que el módulo de transmisión por Radio-frecuencia llamado HC-12 era el óptimo. Este dispositivo tiene un tamaño pequeño, especialmente su antena que es un resorte, es receptor y emisor a la vez, funciona en un ancho de banda amplio (433-470MHz), tiene un alcance de hasta 1000 metros, fácil de programar y con un precio razonable cercano a las \$10 dólares. Para probar este módulo se conectaron tres placas Arduino UNO y se transmitieron y recibieron datos entre ellas.

Fotocelda infrarroja de detección: Existen en el mercado diferentes tecnologías para la detección de objetos. Las más usadas son los detectores de ultrasonido y los de rayo infrarrojo. Los de ultrasonido utilizan ondas sonoras ultrasónicas que rebotan cuando detectan un objeto. Estas ondas van hacia todas las direcciones y pueden inclusive detectar objetos que no estén en un espacio libre de obstáculos entre el sensor y el objeto a detectar. En el caso de los sensores infrarrojos, estos basan su detección en un haz de luz que al ser “cortado” por un objeto registran un retorno que se utiliza como señal para detectar el movimiento. A diferencia de los sensores ultrasónicos, la fotocelda infrarroja genera un rayo lineal y solo cortándolo permite la detección. Además, no debe haber ningún obstáculo entre el sensor y el objeto a detectar.

Otra diferencia importante y más aún cuando se trata de medir tiempo, es el hecho de que las ondas sonoras viajan a velocidades más bajas que los fotones que forman el haz de luz. Al estar tratando con dos tipos de tecnologías que detectan con el retorno de la señal sonora o la lumínica, puede haber diferencias de respuesta si el sensor está siendo utilizado para activar algún mecanismo como un cronómetro. Por lo tanto, dados los requerimientos del

sistema, se decidió utilizar un sensor de fotocelda infrarrojo que permite la detección en un punto específico definido por la dirección hacia donde se apunte el haz de luz. Además que, al ser detección y retorno por luz, es en definitiva más rápido para detectar el objeto que el sensor que funciona con sonido. Un inconveniente que se detectó durante las pruebas del prototipo, es que este tipo de sensor pierde sensibilidad de detección cuando el sensor se expone a otras fuentes de luz que contengan anchos de banda infrarrojos, como sucede con la luz solar.

Al detectar fallas en las mediciones en las pruebas de campo iniciales al aire libre y que no tenían una explicación clara, se consultó la ficha técnica del sensor E18-D80NK (Kummel, China) y se descubrió que no tenía filtro para otro tipo de emisiones lumínicas, y por lo tanto estaba recomendado para aplicaciones bajo techo. Además, en la práctica tenía una distancia de detección de un poco más de 30 centímetros. A raíz de eso se procedió a cambiar el sensor por un GP2Y0A21 (Sharp, Estados Unidos) que estaba disponible. En su ficha técnica se indica que, aunque no tiene capacidad de filtrar otras fuentes lumínicas, al menos tiene un alcance de detección de 80 centímetros, comprobado en las pruebas ejecutadas. Para un prototipo 2 se recomienda utilizar un sensor infrarrojo que esté diseñado para filtrar otras fuentes lumínicas.

Pantalla de datos: Con respecto a la pantalla de datos había una cantidad grande de opciones. No obstante, el criterio principal para la escogencia era la cantidad y tipo de información que el sistema debía generar y presentar al operador. No se estaba hablando de exponer información compleja como videos, gráficos o animaciones a color, simplemente unas pocas letras y números. Debido a lo anterior no se requería una tecnología costosa y complicada. Por lo tanto, se decidió implementar una pantalla LCD (cristal líquido) modelo 1602A de solo dos filas de 16 caracteres cada una. Este componente es económico, fácil de adquirir y de un uso e implementación a la placa Arduino UNO muy sencillo.

Prueba de concordancia

En las últimas décadas los métodos estadísticos utilizados para efectuar pruebas de concordancia y confiabilidad de instrumentos de medición evolucionaron. Anteriormente se recomendaban pruebas de correlación para poder comparar dos mediciones con el mismo instrumento, o una medición con diferentes sistemas de medición. Sin embargo, se ha

planteado por varios investigadores que las pruebas de correlación evalúan la fuerza de asociación entre dos medidas pretest-postest, pero no la concordancia entre ellas. Lo anterior obedece a que las correlaciones son métodos “interclase” y es necesario entonces una forma estadística “intraclase”.

En ese sentido, Fisher (1921) propuso un método denominado coeficiente de correlación intraclase (ICC), el cual evalúa el grado de variación entre mediciones realizadas en distintos momentos, en donde si la diferencia entre estas es pequeña el ICC será grande, pero si la diferencia es grande este coeficiente será pequeño. El rango del coeficiente se ubica entre cero y uno, siendo uno el grado máximo de concordancia entre diferentes mediciones (Altman y Bland, 1983; Cardemil, 2017; Fisher, 1921; Serra y Peña, 2006). Pese a lo descrito, el coeficiente de correlación como el de Pearson para datos paramétricos por ejemplo, se puede seguir utilizando para complementarlo con el ICC, pues de esa forma se conocería la concordancia intraclase así como la fuerza de asociación interclase que muestran los datos (Cardemil, 2017; G. Martínez et al., 2016).

En 1983, Altman y Bland analizaron el uso de los coeficientes de correlación junto con el ICC para determinar concordancia. Concluyeron que el uso de estos métodos tenía la debilidad de depender de ciertos supuestos en los datos, como por ejemplo que fueran paramétricos, que tuvieran variancias semejantes, que tuvieran independencia entre los errores de cada evaluador o instrumento, además de carencia de un parámetro para valorar el resultado de forma práctica o clínica. Es así como proponen complementar el análisis con el método denominado “límites de concordancia” o conocido también como Altman-Bland. Este método es una representación gráfica que permite observar la concordancia entre cualquier tipo de variable cuantitativa asumiendo eso sí, una distribución normal.

Con este método se obtiene un límite superior y uno inferior basado en el intervalo de confianza (IC) que se quiera escoger, aplicando una fórmula en donde se suman los promedios de las diferencias entre los datos, más el error estándar (1,96) por la desviación estándar de las diferencias, y con ello se generan los límites. Para valorar los resultados se espera que las diferencias entre las evaluaciones se encuentren entre los límites con un porcentaje de probabilidad de que sea cierto según el IC escogido. De igual forma el gráfico permite observar tendencias que pueden tener los datos como por ejemplo que uno de los instrumentos mida de forma sistemática menos que el otro, aunque se mantengan los

resultados dentro de los límites de concordancia, o se pueda observar la magnitud de las diferencias entre las mediciones para hacer un análisis sobre la relevancia clínica o práctica que pueden tener los resultados. Esto debe darse independientemente de otros métodos estadísticos los cuales indiquen falta de asociación, de concordancia o diferencias significativas desde un punto de vista estadístico (Altman y Bland, 1983; Cardemil, 2017; G. Martínez et al., 2016; Serra y Peña, 2006).

A propósito de la relevancia clínica o práctica que pueden tener los resultados que se obtienen después de valorar la concordancia o la confiabilidad de un instrumento o evaluador, Barrera (2008) indica que se ha observado una tendencia preocupante dentro del mundo científico durante las últimas décadas, en el sentido de otorgarle un valor absoluto al resultado estadístico. Siendo así, asegura que se ha generado entre los científicos la creencia equivocada de que la meta de las investigaciones es obtener una significación. En realidad, en el ámbito de la investigación clínica o en otros campos donde (sin importar si los tratamientos experimentales producen datos con diferencias significativas o no) lo más importante es valorar la relevancia práctica que estos tienen. Por lo tanto sostiene Barrera (2008) que no basta con establecer si un evento causó un efecto significativo o no, es necesario también tomar en cuenta el conocimiento y experiencia del investigador para hacer una interpretación integral que ayude a elaborar las conclusiones del estudio (Barrera, 2008). Por lo anterior, se recomienda usar el gráfico de límites de concordancia para que el investigador pueda analizar las magnitudes de las diferencias existentes entre las mediciones de dos instrumentos que se comparan, con el fin de determinar independientemente de los métodos de asociación y comparación utilizados, si estas diferencias son relevantes o no en el mundo real (Barrera, 2008; Cardemil, 2017).

Con respecto a los resultados obtenidos en la prueba de concordancia entre los tres sistemas comparados utilizando un intervalo de 2s, se obtuvo un ICC promedio de 0,89 el cual se clasifica como “casi perfecto”. Igualmente, la correlación de Pearson muestra una asociación muy alta entre los datos de los tres sistemas que oscila entre 0,88 a 0,92, lo cual respalda lo observado con el ICC. En el caso de la información generada en las pruebas con un intervalo de 5s y 12s, se observan resultados mejores ya que el promedio del ICC es de 0,99 el cual se califica de “perfecto”, con una correlación de 0,99 que es también casi perfecta.

Consultados dos entrenadores de atletismo, manifiestan que para la medición de intervalos durante los entrenamientos, si se van a medir tiempos menores de 30 segundos podrían utilizarse las décimas de segundo para controlar de forma precisa los entrenamientos, pero con intervalos más grandes con segundos e inclusive con minutos es suficiente para hacer lo mismo (J. C. Gutiérrez, comunicación personal, 2023; L. Rojas, comunicación personal, 2023). De la misma forma, al consultar el Reglamento de Competición de la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF), se indica que en caso de usarse cronómetros manuales, se deben utilizar solo décimas de segundo y redondear siempre al mayor dígito en caso de haber medido centésimas (Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF), 2017).

La información anterior indica que, tanto en entrenamiento como en competencia, un instrumento el cual mida al menos décimas de segundo es suficiente. Es importante recordar que el prototipo probado en este estudio, mide hasta milésimas de segundo, por lo que su sensibilidad en las mediciones es aún mayor a lo requerido en la práctica. Con esa conclusión, si se analizan las diferencias promedio (BIAS) que presentan las tres pruebas de concordancia, se observa que el dato mayor es apenas de 5 centésimas de segundo en la comparación entre el Prototipo 1 con el Newtest con intervalo de 5s. Por lo tanto, los datos medidos con los diferentes sistemas en la práctica tienen diferencias que no son importantes ni determinantes para controlar los entrenamientos o las competencias.

Otro dato relevante que se puede extraer al analizar el gráfico Bland-Altman, consiste en que no se observa ninguna tendencia al comparar los sistemas. Por ejemplo, que con determinado equipo se presente siempre una diferencia constante positiva o negativa, aunque estas diferencias se mantengan dentro de los límites de concordancia, haciendo pensar que puede existir algún factor que sistemáticamente produzca ese comportamiento en todas las mediciones.

Prueba de Confiabilidad

Para desarrollar este análisis se utilizaron los mismos métodos estadísticos presentados para llevar a cabo los análisis de concordancia. La única diferencia consistió en que para esta prueba se efectuó una comparación de dos mediciones efectuadas con el Prototipo 1, sin compararlo con ningún otro sistema. Al ser dos mediciones diferentes, se parte del supuesto

de que las condiciones de medición en cada una de ellas fueron idénticas y controladas de posibles factores que provocarían efecto, dejando como una única variable que provocaría alguna diferencia si la hubiera, la generada por el instrumento en caso de no mostrar confiabilidad. Sin embargo, lograr lo anterior es muy difícil debido a que existen fuentes de variabilidad que son imposibles de controlar y las pruebas realizadas al Prototipo 1 no escapan a ellas. Pese a ello, esta situación no debe ser vista como negativa, pues si el instrumento tiene implícito cierto grado de variabilidad en medidas repetitivas, y a esa variabilidad se le suman otros factores que provoquen lo mismo logrando una confiabilidad aceptable, significa que pesar a todo, el instrumento es robusto en sus mediciones y se puede confiar en él para repetir sus resultados.

Algunas posibles fuentes de variabilidad que pudieron afectar la confiabilidad del Prototipo 1 fueron el grado de precisión del sistema, las condiciones ambientales, el factor humano y a la misma variabilidad que puede tener el sistema en sí y se conoce como “ruido” electrónico o de artefacto. Con respecto al grado de precisión del sistema se refiere a que se midieron hasta milésimas de segundo. Lo anterior no es en sí una fuente de variabilidad, sino más bien que al medir de forma tan precisa puede detectar mayor cantidad de posibles factores que hagan variar las mediciones repetidas en magnitudes que en la práctica, no son significativas o importantes para el objetivo de utilizar el Prototipo 1 para control del entrenamiento deportivo (J. C. Gutiérrez, comunicación personal, 25 de agosto del 2023; L. Rojas, comunicación personal, 25 de agosto del 2023).

Con respecto a las condiciones ambientales, ya se mencionó que una razón por la que se decidió modificar la locación de las pruebas, de una pista de atletismo al aire libre a un gimnasio cerrado, se debió a las ráfagas de viento y el exceso de luz y radiación solar que afectaron las mediciones del Prototipo 1 y de los otros 2 sistemas. El viento era tan fuerte que desubicaba o botaba los sistemas, la luz solar afectaba la sensibilidad de los sensores infrarrojos, y la radiación calentó todos los componentes, lo que puede también alterar el funcionamiento correcto de los componentes electrónicos que tienen rangos de temperatura establecidos para su funcionamiento normal.

También hay una posibilidad de que el ruido eléctrico generado por ondas electromagnéticas como las emitidas por los teléfonos portátiles y que viajan por la atmosfera, puedan interferir en la transmisión de datos al ser un equipo inalámbrico, o los

mismos campos electromagnéticos que generan los equipos electrónicos y que pueden afectar si están uno muy cerca del otro (Bertrand, 1971; Chica y Solís, 2021; Sánchez, 2009; Vijayraghavan, 1999). Por la situación anterior fue que se decidió modificar el protocolo inicial y trasladar las pruebas a un gimnasio cerrado en donde el viento y el sol minimizaran el efecto que tenían sobre el sistema. Además, se apagaron y alejaron los teléfonos portátiles o cualquier otro equipo electrónico que no fuera necesario tener dentro de la instalación.

Sobre el efecto del factor humano, específicamente se refiere al tiempo de reacción muscular (TR) y todo el engranaje funcional que eso conlleva. La literatura es clara en indicar que el TR es el resultado de factores físicos y cognitivos, siendo estos diferentes entre todos los individuos por causas genéticas y por el nivel de entrenamiento físico y cognitivo que se tenga (Gutiérrez-Vargas et al., 2020; Pérez-Tejero et al., 2011; Suárez et al., 2021). En el procedimiento utilizado para las pruebas de confiabilidad, a diferencia de las pruebas para concordancia, se utilizó un sistema de luces programado previamente para que los asistentes de investigación activaran los sensores de forma idéntica cada vez que se encendiera una luz.

Además, se utilizaron los mismos dos asistentes de investigación en todas las pruebas con el fin de minimizar el efecto por factor humano. Esta metodología se cambió con respecto a la planteada originalmente, la cual consistía en utilizar una bicicleta eléctrica que podía mantener una velocidad constante para no depender del nivel físico del operador de esta, pero no se tomó en cuenta que un fuerte viento podía producir cambios por resistencia aerodinámica. Esa fue otra de las razones que se tuvieron en cuenta para hacer las pruebas en un ambiente cerrado, y en lugar de la bicicleta utilizar dos personas que activarían los sensores de forma secuencial después del intervalo indicado por el sistema de luces, con el fin de evitar que la velocidad de traslación fuera diferente entre cada repetición a causa del nivel de entrenamiento físico para poder mantener el ritmo de caminata apropiado o por fatiga por parte del operador. Sin embargo, pese al esfuerzo de controlar todas las variables que puedan provenir del factor humano, no fue posible controlar las diferencias en el tiempo de reacción que podrían tener los individuos por razones cognitivas como la atención, que según la literatura puede afectar enormemente el tiempo de reacción ante un estímulo (Bernabéu, 2017; Londoño, 2009).

Otro posible factor que puede producir variabilidad en las mediciones del Prototipo 1 y el cual ya se mencionó, es el llamado “ruido” eléctrico o de artefacto que en parte puede

provenir del mismo sistema o del medio ambiente. El ruido es un fenómeno que afecta a cualquier equipo electrónico. Son señales indeseables de diferente fuente y sin relación alguna con la señal de interés, que se introducen y causan distorsiones sobre esta. Existen señales de ruido aleatorias que son de naturaleza impredecible, como por ejemplo un rayo, el cual provoca un campo electromagnético en el ambiente que puede hasta destruir un equipo electrónico, y señales de ruido no aleatorias que pueden medirse y controlarse de forma apropiada, como por ejemplo un contacto defectuoso, un cable expuesto o un campo electromagnético producido por una fuente de energía eléctrica cercana al sistema electrónico (Sánchez, 2009).

Hay que recordar que la electrónica es la aplicación del comportamiento de los electrones (electricidad) en diversos medios, como el vacío, los gases y los semiconductores, sometidos a la acción de campos eléctricos y magnéticos (RAE, 2021). Así que cualquier fenómeno que altere ese comportamiento, ya sea en cantidad, en velocidad de movimiento o en dirección afectará la cantidad de energía apropiada que debe transmitirse para que un componente electrónico funcione de forma correcta (Zuluaga, 1992).

Al construir un sistema electrónico a nivel de hardware, es importante tomar en cuenta cómo, cuándo y dónde podría haber interferencia de ruido en las señales electrónicas del sistema. Como se ha mencionado, el diseño y construcción de un prototipo en sus primeras fases no necesariamente debe construirse con los materiales o con el acabado del producto final (Salazar, 2012). Esto se debe a que primero se desea saber si el concepto y la aplicación estén funcionando como se requiere, sin que esta fase signifique una inversión en tiempo y dinero alta, pues si se determina que no funciona se desecha y las pérdidas se minimizan. Al contrario, si la idea inicial es funcional, se procederá a seguir adelante con los siguientes prototipos en donde con más seguridad se seguirá invirtiendo más recursos modificando y mejorando diversos aspectos hasta llegar a la versión final.

En el caso del prototipo que se presenta, tiene una construcción con materiales y ensamble que no tomó en cuenta la posibilidad de interferencias que generaran ruidos electrónicos y que a su vez provocarían efecto en los componentes del sistema con la consecuente posible variabilidad de las mediciones efectuadas. Lo anterior no se puede comprobar pues no es posible medir este tipo de interferencias que pueden ser varias a la vez y de distinta naturaleza, pero por las características del diseño y ensamble no es tampoco extraño tener

esa hipótesis. Lo cierto es que al analizar los resultados se aprecia claramente la variabilidad en los datos que, entre varias posibles fuentes, está por supuesto el ruido electrónico descrito.

En el caso del Prototipo 1, se puede detallar que tiene conexiones de cables expuestos sin las soldaduras apropiadas, conectados en puertos de contacto por presión mecánica. Además, aunque se consideraron componentes electrónicos que pueden filtrar ruido en algunas líneas eléctricas como capacitores o condensadores, esto no evita que el ruido que proviene del ambiente como, por ejemplo, ondas electromagnéticas como señales de radio o celular que flotan en el ambiente, o del mismo campo electromagnético producido por la fuente de energía, en este caso las baterías del Prototipo, provoquen efecto en la variabilidad. Tampoco el sistema cuenta con sistemas de refrigeración o enfriamiento para que el sistema funcione en los rangos de temperatura apropiada para todos sus componentes electrónicos.

La intensidad de la luz ambiental se puede considerar también como generadora de ruido electrónico pues puede afectar la transmisión de fotones que emiten los sensores infrarrojos para las mediciones respectivas. Todos los factores anteriores son reconocidos por los expertos como posibles fuentes de ruido electrónico que perfectamente podrían afectar el funcionamiento de los cristales de cuarzo que se encuentran en la tarjeta controladora y que son los utilizados para medir el tiempo en el sistema (Bertrand, 1971; Chica y Solís, 2021; Sánchez, 2009; Vijayraghavan, 1999).

En este punto de la discusión, podría parecer que todos los factores descritos como posibles fuentes de variabilidad en las mediciones del Prototipo 1, atentan con la intención de construir un sistema confiable. Sin embargo, ocurre lo contrario. El diseño y construcción de diversos prototipos se hace, intencionalmente, con elementos de menor calidad y costo, o con acabados no muy presentables para una posible comercialización. En algunos casos como ya se mencionó, la intención es bajar el costo del prototipado, pero en otros casos se hace a propósito para observar si pese al diseño sencillo y al poco control de posibles factores de variabilidad en las mediciones de instrumento que se construye, se logra una aceptable confiabilidad que podría mejorarse en los siguientes prototipos si fuera necesario. Entendiendo, claro, que esos ajustes provocarán probablemente un costo y una complejidad mayor en la siguiente versión.

El prototipo presentado, pese a las posibles fuentes de variabilidad descritas, muestra resultados que confirman que las variables no fueron suficientes para provocar resultados

que no fueran confiables desde un punto de vista estadístico y desde un punto de vista práctico. Con respecto a los análisis desarrollados, el ICC calculado entre las evaluaciones 1 y 2 en cada intervalo muestran datos que oscilan entre 0,81 a 0,94, lo que se interpreta como casi perfecto, y se refuerza esa conclusión con los valores r de la correlación de Pearson que estuvieron entre el 0,81 al 0,95, mostrando una asociación muy alta entre las mediciones hechas con el Prototipo 1.

Sí hay una observación importante que hacer cuando se observan los gráficos Bland-Altman y las diferencias promedio (BIAS). Este último es negativo en todos los casos, lo que se observa claramente en la figura 4 donde prácticamente las diferencias en todas las mediciones son menores a 0. Lo anterior permite pensar en algún factor desconocido que provocó que el sistema en la segunda medición obtuviera de forma casi constante datos mayores. Se aprecia lo mismo en la Tabla 7, al observar la media de cada evaluación. La diferencia principal entre las dos mediciones fue la hora, una por la mañana y otra por la tarde. Sin poder asegurarlo, podría pensarse que los asistentes de investigación que ejecutaron las pruebas se vieron afectados por aspectos fisiológicos como la digestión, pues la segunda prueba fue a las 14:00, después del almuerzo, y esto pudo perjudicar desde su reacción muscular hasta su nivel de atención y procesamiento cognitivo para responder igual a la prueba de la mañana.

También se puede pensar que podía haber leves diferencias de luminosidad, aunque siempre se tuvo encendido el sistema de luces del gimnasio a máxima capacidad, o la temperatura ambiental, la cual no se percibió por los investigadores como muy distinta. A partir de ahí no se contemplan otros posibles factores de variabilidad que pudieron afectar los resultados. Sin embargo, se reitera que pese al comportamiento de los datos y el análisis hipotético de posibles factores que pudieron aumentar la variabilidad y la tendencia apreciada, los resultados de confiabilidad demuestran que el sistema es robusto pese a todo y con gran margen de mejoría en sus siguientes prototipos.

Con respecto a la prueba de transmisión inalámbrica se logró superar el parámetro indicado de al menos 100 metros en terrero plano y sin obstáculos. Al final se logró transmitir hasta 300 metros lo que era esperable, ya que la especificación técnica del componente indica

que con condiciones adecuadas se puede alcanzar una distancia de transmisión de hasta 1500 metros.

Capítulo VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se expondrán las conclusiones y recomendaciones sobre este proceso de disertación doctoral.

Conclusiones

1. Se logró diseñar un dispositivo electrónico para el control de intervalos en el entrenamiento físico con desplazamientos horizontales con factibilidad de ser fabricado.
2. Se fabricó un dispositivo electrónico para el control de intervalos en el entrenamiento físico con desplazamientos horizontales funcionales.
3. Se determinó que el dispositivo electrónico fabricado para el control de intervalos en el entrenamiento físico con desplazamientos horizontales denominado “Prototipo 1”, muestra concordancia y confiabilidad, lo que permite seguir adelante con el proceso de prototipado para una versión 2.
4. Se concluye que es posible el diseño y fabricación de instrumentos de evaluación y control del entrenamiento físico utilizando materiales de electrónica baratos, en algunos casos de reciclaje, además de hardware y software libre, y con una instrucción en su mayoría autodidacta por parte de un profesional especialista en movimiento humano.
5. Se concluye que el Prototipo 1 logró cumplir con casi todos los parámetros conceptualizados. El único que no se cumplió fue el requerimiento de poder funcionar tanto al aire libre como bajo techo. Ya se ha explicado con detalle por qué no se logró dicho parámetro. Además, se concluye que el sistema es capaz de transmitir información a una distancia de al menos 300 metros en terreno plano y sin obstáculos al aire libre.

Recomendaciones

1. Proseguir con la siguiente fase de prototipado al resultar el prototipo 1 funcional, concordante y confiable con respecto a dos sistemas comerciales de medición de intervalos para el entrenamiento deportivo.

2. Se recomienda, para el prototipo 2, darle capacidad para ser utilizado al aire libre cambiando componentes del sistema más aptos para esas condiciones. Para lo anterior será necesario tomar medidas para aplacar los factores que producen “ruido” de artefacto que generan las condiciones ambientales y los aspectos propios de construcción que pueden provocarlos.
3. Para la prueba de confiabilidad del prototipo 2, se recomienda ejecutar el proceso en días distintos, repetir las mismas condiciones con el fin de minimizar factores ambientales y humanos que pueden afectar.
4. Para un posterior estudio que evalúe un Prototipo 2, se recomienda repetir las pruebas bajo techo efectuadas en este estudio para tener una comparación del efecto de los cambios ejecutados en la nueva versión, y realizar las pruebas al aire libre repitiendo exactamente el mismo protocolo hecho en este estudio.
5. Se recomienda que se incluyan dentro de los planes de estudio universitarios, o bien por medio de educación continua, cursos que ofrezcan a los especialistas en Movimiento Humano el conocimiento requerido para fabricar sus propios instrumentos de evaluación y control del entrenamiento físico. Lo anterior basados en la necesidad de desarrollar las habilidades en informática y electrónica como competencias necesarias para funcionar en el mundo actual y futuro.

Referencias

- Abernethy, P. J., Jürimäe, J., Logan, P. A., Taylor, A. W., y Thayer, R. E. (1994). Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 17(1), 22-38. <https://doi.org/10.2165/00007256-199417010-00003>
- Abernethy, P., Wilson, G., y Logan, P. (1995). Strength and Power Assessment. *Sports Medicine*, 19(6), 401-417. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519060-00004>
- Acevedo Díaz, J. A., y García-Carmona, A. (2016). The story of a controversy in the History of Technology for learning about the Nature of Technology: Tesla vs. Edison-The War of the Currents. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 34(1), 193. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1916>
- Acha, S., y Castro, M. A. (2002). *Electrónica Digital. Introducción a la Lógica Digital*. RA-MA.
- Achten, J., y Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517-538.
- Ackland, T. R., Lohman, T. G., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R. J., Meyer, N. L., Stewart, A. D., y Müller, W. (2012). Current Status of Body Composition Assessment in Sport: Review and Position Statement on Behalf of the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition Health and Performance, Under the Auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Medicine*, 42(3), 227-249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>

- Akbaş, A., Marszałek, W., Kamieniarz, A., Polechoński, J., Słomka, K. J., y Juras, G. (2019). Application of Virtual Reality in Competitive Athletes – A Review. *Journal of Human Kinetics*, 69, 5-16. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0023>
- Alanen, A., Räisänen, A., Benson, L., y Pasanen, K. (2021). The use of inertial measurement units for analyzing change of direction movement in sports: A scoping review. *International Journal of Sports Science y Coaching*, 16(6), 1332-1353. <https://doi.org/10.1177/17479541211003064>
- Ali, B. B., Dugas, E., Naceur, A., y Romdhani, I. (2017). A new Zigbee-based device for measuring visual reaction time in sport activities. *2017 International Conference on Engineering y MIS (ICEMIS)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICEMIS.2017.8273005>
- Almenara, J. C. (2007). *Tecnología educativa*. McGraw-Hill. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=12346>
- Altman, D. G., y Bland, J. M. (1983). Measurement in Medicine: The Analysis of Method Comparison Studies. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)*, 32(3), 307-317. <https://doi.org/10.2307/2987937>
- Arango, R., Navarro, Á. A., y B, J. B. P. (2014). Sistemas Open Hardware y Open Source Aplicados a la Enseñanza de la Electrónica. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 25(1), Article 1. <https://doi.org/10.33975/riuq.vol25n1.163>
- Arduino. (2022). About Arduino. <https://www.arduino.cc/en/about>
- Arduino. (2023). En *Wikipedia*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF). (2017). *Reglas de Competición. IAAF 2018-2019*. IAAF.

- Bandodkar, A. J., y Wang, J. (2014). Non-invasive wearable electrochemical sensors: A review. *Trends in Biotechnology*, 32(7), 363-371.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.04.005>
- Barrera, M. (2008). Diferencias estadísticamente significativas vs. Relevancia clínica. *CES Medicina*, 22(1), 89-96.
- Barrera, M., Ospina, N. L., Carvajal, J., y Fonseca, A. (2012). *Análisis y diseño de un prototipo de sistema domótico de bajo costo*. 13.
- Bermejo, L., Pérez, C., y Montilla, F. (2020). *Aplicación para la gestión y obtención de la información procedente de un sistema de medición velocidad en pruebas de atletismo*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Bernabéu, E. (2017). La atención y la memoria como claves del proceso de aprendizaje. Aplicaciones para el entorno escolar. *ReiDoCrea*, 6(2), 16-23.
- Bertrand, J. (1971). Electronic Noise. *IEEE Spectrum*, 42-46.
- Besley, T., y Case, A. (1993). Modeling technology adoption in developing countries. *American Economic Review; (United States)*, 83:2, Article CONF-9301105-.
<https://www.osti.gov/biblio/5984217-modeling-technology-adoption-developing-countries>
- Bland, J. M., y Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet (London, England)*, 1(8476), 307-310.
- Blin, J. (2023). *Upside: The Connected Fitness Ecosystem: From Smart mirror, treadmill, Bike..to Smart Rowing*. The Upside Newsletter. <https://www.theupside.us/p/-upside-the-connected-fitness-ecosystem>

- Bolívar, M. I. S. (2021). Lenguajes y Entornos de Programación para Fortalecer El Desarrollo de Competencias Concernientes al Pensamiento Computacional. *HAMUT'AY*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.21503/hamu.v7i3.2200>
- Bompa, T., y Buzzichelli, C. (2006). *Periodización del Entrenamiento Deportivo* (4ta ed.). Paidotribo.
- Brusque, T., y Andrade, A. (2015). Retrasos en la medición del tiempo con el uso de computadoras en la investigación del Tiempo de Reacción: Una revisión sistemática. *Revista de Psicología del Deporte.*, 24(2), 341-349.
- Bundle, M. W., Hoyt, R. W., y Weyand, P. G. (2003). High-speed running performance: A new approach to assessment and prediction. *Journal of Applied Physiology*, 95(5), 1955-1962. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00921.2002>
- Buzón-García, O., y Barragán Sánchez, R. (2004). Desarrollo de competencias específicas en la materia tecnología educativa bajo el marco del espacio europeo de educación superior. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, ISSN 1695-288X, Vol. 3, Nº. 1, 2004.
- Calcin, G., y Mendoza, M. (2014). *Material didáctico “protocircuito” para el aprendizaje de circuitos serie – paralelo con resistores, en estudiantes del quinto grado de secundaria de la institución educativa “José Olaya” De Hualhuas*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cardemil, F. (2017). Comparison analysis and applications of the Bland-Altman method: Correlation or agreement? *Medwave*, 17(01), e6852-e6852. <https://doi.org/10.5867/medwave.2016.01.6852>
- Carling, C., Reilly, T., y Williams, A. M. (2009). *Performance assessment for field sports*. Routledge.

- Castán, J. C. R., Temiño, C. J. A., Campo, S. S., y Trigueros, A. de B. (2012). Validación de un protocolo para la medición del tiempo de reacción y tiempo de movimiento en esgrima. En *Dialnet—Artículos de revista*. Dialnet - Artículos de revista.
- Ceniccola, G. D., Castro, M. G., Piovacari, S. M. F., Horie, L. M., Corrêa, F. G., Barrere, A. P. N., y Toledo, D. O. (2019). Current technologies in body composition assessment: Advantages and disadvantages. *Nutrition*, 62, 25-31.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.11.028>
- Chappelet, J.-L. (2005). *Sport and Economic Development*.
www.sportanddev.org/sites/default/files/downloads/sport__economic_development_in_english.pdf
- Chica, L., y Solís, H. (2021). Recomendaciones para el diseño electrónico profesional a prueba de interferencias electromagnéticas. *Multidisciplinary Journal*, 3(7), 1-12.
- Clemente, F. M., Couceiro, M. S., Martins, F. M. L., y Martins, F. M. L. (2013). An Online Tactical Metrics Applied to Football Game. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(5), Article 5. <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.4926>
- Coakley, J. (2008). *Sport in Society: Issues and Controversies*. (Decima). McGraw Hill.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2.^a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Coleman, A. E., y Lasky, L. M. (1992). Assessing Running Speed and Body Composition in Professional Baseball Players. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 6(4), 207-213.
- Compañ-Rosique, P., Satorre-Cuerda, R., Llorens-Largo, F., y Molina-Carmona, R. (2015). Enseñando a programar: Un camino directo para desarrollar el pensamiento

computacional. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 46, Article 46.

<https://revistas.um.es/red/article/view/240191>

- Comstock, B. A., Solomon-Hill, G., Flanagan, S. D., Earp, J. E., Luk, H.-Y., Dobbins, K. A., Dunn-Lewis, C., Fragala, M. S., Ho, J.-Y., y Hatfield, D. L. (2011). Validity of the Myotest® in measuring force and power production in the squat and bench press. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 25(8), 2293-2297.
- Conger, S. A., Guo, J., Fulkerson, S. M., Pedigo, L., Chen, H., y Bassett, D. R. J. (2016). Objective Assessment of Strength Training Exercises using a Wrist-Worn Accelerometer. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 48(9), 1847-1855.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000949>
- Cosoli, G., Spinsante, S., y Scalise, L. (2020). Wrist-worn and chest-strap wearable devices: Systematic review on accuracy and metrological characteristics. *Measurement*, 159, 107789. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107789>
- Cronin, J. B., y Templeton, R. L. (2008). Timing light height affects sprint times. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 318-320.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815fa3d3>
- Currell, K., y Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(4), 297-316.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200838040-00003>
- Cvetković, B., Szeklicki, R., Janko, V., Lutomski, P., y Luštrek, M. (2018). Real-time activity monitoring with a wristband and a smartphone. *Information Fusion*, 43, 77-93. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.05.004>
- Daly, L., y Bourke, G. J. (2000). *Interpretation and Uses of Medical Statistics*.

- Delgado-Martínez, J. G. D. (2020). *Revisión sistemática de la literatura sobre el uso de la tecnología en el deporte*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., y Jones, P. A. (2018). The effect of angle and velocity on change of direction biomechanics: An angle-velocity trade-off. *Sports medicine*, 48(10), 2235-2253.
- Düking, P., Holmberg, H.-C., y Sperlich, B. (2018). The Potential Usefulness of Virtual Reality Systems for Athletes: A Short SWOT Analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 128. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00128>
- Dunn, J., Runge, R., y Snyder, M. (2018). Wearables and the medical revolution. *Personalized Medicine*, 15(5), 429-448. <https://doi.org/10.2217/pme-2018-0044>
- Echeverría, J. (1998). Teletecnologías, espacios de interacción y valores. *Teorema: Revista Internacional de Filosofía*, 17(3), 11-25.
- ECWID. (2018). *Aprende que es un prototipo y como crear un prototipo de un producto*. <https://www.ecwid.com/es/blog/como-crear-un-prototipo-de-producto.html>.
- Ernst, D., y Lundvall, B.-Å. (2000). Information Technology in the Learning Economy: Challenges for Developing Countries. *East-West Center Working Papers: Economic Series*, 8, 21.
- Fava, L. A., Vilches Antão, D. G., Ferraresso, A., Boccalari, E., y Díaz, F. J. (2020). *Inteligencia y tecnologías aplicadas al deporte de alto rendimiento*. XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020, El Calafate, Santa Cruz). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/104242>
- Fava, L., Vilches, D., Díaz, J., Pagano, M., y Dapozo, R. R. (2018). *Tecnología aplicada al deporte de alto rendimiento*. 5.

- Finn, J. (2016). Timing and Imaging Evidence in Sport: Objectivity, Intervention, and the Limits of Technology. *Journal of Sport and Social Issues*, 40(6), 459-476.
<https://doi.org/10.1177/0193723516672905>
- Fisher, RA. (1921). On the «probable error» of the coefficient of correlation deduced from a small sample. *Metron*, 1, 3-32.
- Floriani, J. C. A. (2006). Sobre la Historia de la Electrónica en el Primer Centenario de su Nacimiento: La Era Termoiónica. *IEEE Latin America Transactions*, 4(4), 8.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., y Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of strength and conditioning research*. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0109:ANATME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0109:ANATME>2.0.CO;2)
- García-Orea, G. P., Elvar, J. R. H., Campillos, J. A., y Arenas, A. (2017). Dispositivos para la Medición de la Velocidad de Ejecución en el Entrenamiento de la Fuerza: ¿Todos Valen para lo Mismo? *IJPEH*, 1(2), 6.
- Gløersen, Ø., Myklebust, H., Hallén, J., y Federolf, P. (2018). Technique analysis in elite athletes using principal component analysis. *Journal of Sports Sciences*, 36(2), 229-237. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1298826>
- Gómez-Carmona, C. D., Bastida Castillo, A., Rojas-Valverde, D., de la Cruz Sánchez, E., García-Rubio, J., Ibáñez, S. J., y Pino-Ortega, J. (2020). Lower-limb dynamics of muscle oxygen saturation during the back-squat exercise: Effects of training load and effort level. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 34(5), 1227-1236.
- Gómez-Carmona, C. D., Pino-Ortega, J., Sánchez-Ureña, B., Ibáñez, S. J., y Rojas-Valverde, D. (2019). Accelerometry-Based External Load Indicators in Sport: Too

- Many Options, Same Practical Outcome? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5101. <https://doi.org/10.3390/ijerph16245101>
- González, I., González, J., y Gómez-Arribas, F. (2003). Hardware libre: Clasificación y desarrollo de hardware reconfigurable en entornos GNU/Linux. *VI Congreso de Hispalinux, Universidad Rey Juan Carlos I*, 13.
- González-Víllora, S., Serra-Olivares, J., Pastor-Vicedo, J. C., y da Costa, I. T. (2015). Review of the tactical evaluation tools for youth players, assessing the tactics in team sports: Football. *SpringerPlus*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1462-0>
- Gouwanda, D., y Senanayake, S. M. N. A. (2008). Emerging Trends of Body-Mounted Sensors in Sports and Human Gait Analysis. En N. A. Abu Osman, F. Ibrahim, W. A. B. Wan Abas, H. S. Abdul Rahman, y H.-N. Ting (Eds.), *4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2008* (pp. 715-718). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69139-6_178
- Granero-Gil, P., Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., Rojas-Valverde, D., Cruz, E. de la, y Pino-Ortega, J. (2020). Influence of playing position and laterality in centripetal force and changes of direction in elite soccer players. *Plos One*, 15(4), e0232123. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232123>
- Grgic, J., Lazinica, B., Schoenfeld, B. J., y Pedisic, Z. (2020). Test–Retest Reliability of the One-Repetition Maximum (1RM) Strength Assessment: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*, 6(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00260-z>
- Gutiérrez, J. C. (25 de agosto del 2023). *Entrevista al entrenador de atletismo Nivel II IAAF Juan Carlos Gutiérrez-Vargas* [Grabación presencial].

- Gutiérrez-Vargas, R., Gutiérrez-Vargas, J. C., Ugalde-Ramírez, J. A., y Rojas-Valverde, D. (2018). Kinematics and thermal sex responses during an official beach handball game in Costa Rica: A pilot study. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 36(1), 7-14.
- Gutiérrez-Vargas, R., Ugalde-Ramírez, J. A., Sánchez-Ureña, B., Ulloa-Sandí, A., Gutiérrez-Vargas, J. C., y Rojas-Valverde, D. (2020). Agreement and reliability of a neuromuscular and cognitive test based on light stimuli to assess integrative reaction time in sports. . . *ISSN*, 8.
- Harrison, A. J., Jensen, R. L., y Donoghue, O. (2005). A Comparison of Laser and Video Techniques for Determining Displacement and Velocity During Running. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 9(4), 219-231.
https://doi.org/10.1207/s15327841mpee0904_2
- Haugen, T., y Buchheit, M. (2016). Sprint Running Performance Monitoring: Methodological and Practical Considerations. *Sports Medicine*, 46(5), 641-656.
<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0446-0>
- Heyward, V. H. (1996). Evaluation of Body Composition: Current Issues. *Sports Medicine*, 22(3), 146-156. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622030-00002>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., y Hanin, J. (2009). Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 41(1), 3-12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hribernik, M., Keš, E., Umek, A., y Kos, A. (2021). Sensor Based Agility Assessment in Sport. *Procedia Computer Science*, 187, 440-446.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.082>

- Hsu, C.-H., y Yu, C.-H. (2009). An Accelerometer Based Approach for Indoor Localization. *2009 Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing*, 223-227. <https://doi.org/10.1109/UIC-ATC.2009.90>
- Jackson, B. M., Polglaze, T., Dawson, B., King, T., y Peeling, P. (2018). Comparing Global Positioning System and Global Navigation Satellite System Measures of Team-Sport Movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 1005-1010. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0529>
- Jaric, S. (2002). Muscle Strength Testing. *Sports Medicine*, 32(10), 615-631. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232100-00002>
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L., y Aughey, R. J. (2010). The Validity and Reliability of GPS Units for Measuring Distance in Team Sport Specific Running Patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 328-341. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.328>
- Keegan, S. (2012). Digital technologies are re-shaping our brains: What are the implications for society and the research industry? *Qualitative Market Research: An International Journal*, 15(3), 328-346. <https://doi.org/10.1108/13522751211232012>
- Kline, S. J. (1985). What Is Technology? *Bulletin of Science, Technology y Society*, 5(3), 215-218. <https://doi.org/10.1177/027046768500500301>
- Kottner, J., y Streiner, D. L. (2011). The difference between reliability and agreement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 64(6), 701-702. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.12.001>
- Kramer, M. S., y Feinstein, A. R. (1981). Clinical biostatistics. LIV. The biostatistics of concordance. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 29(1), 111-123. <https://doi.org/10.1038/clpt.1981.18>

- Kushner, D. (2011). The Making of Arduino—IEEE Spectrum. *IEEE Spectrum*, 3.
- Lai, X., Liu, Q., Wei, X., Wang, W., Zhou, G., y Han, G. (2013). A Survey of Body Sensor Networks. *Sensors*, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/s130505406>
- Lee, H.-B., Kwon, K.-H., Park, L.-J., Chung, T.-Y., y Wu, Q. (2012). A Lightweight Lap Time Measurement System for Alpine Ski Sport Using a TDMA-Based Linear Wireless Sensor Network. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 8(2), 674380. <https://doi.org/10.1155/2012/674380>
- Leser, R., Baca, A., y Ogris, G. (2011). Local positioning systems in (game) sports. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 11(10), 9778-9797. <https://doi.org/10.3390/s111009778>
- Liebermann, D. G., Katz, L., Hughes, M. D., Bartlett, R. M., McClements, J., y Franks, I. M. (2002). Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 755-769. <https://doi.org/10.1080/026404102320675611>
- Londoño, L. (2009). La atención; Un proceso psicológico básico. *Revista de la Facultad de Psicología. Universidad Cooperativa de Colombia*, 5(8), 92-100.
- Lu, C.-C., Chen, F.-F., Ma, S.-Y., y Hong, J.-C. (2020). Elementary School Students Learn Arduino Programming to Assemble Sensory-Controlled Works. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(4), 265-270. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.4.1374>
- Lu, C.-W., Lin, C.-Y., Hsu, C.-Y., Weng, M.-F., Kang, L.-W., y Liao, H.-Y. M. (2013). Identification and tracking of players in sport videos. *Proceedings of the Fifth International Conference on Internet Multimedia Computing and Service*, 113-116. <https://doi.org/10.1145/2499788.2499842>

- MacLean, M. (2022). *Beyond the Finish Line: Images, Evidence, and the History of the Photo-Finish*, By: Jonathan Finn, Montreal and Kingston, McGill-Queen's University Press, 2020, CAD37.95 (Hardback), ISBN 978-0-2280-0343-4; (ePDF), ISBN 978-0-2280-1451-6; (ePUB), ISBN 978-0-2280-1452-3. *Journal of the Philosophy of Sport*, 49(1), 155-157.
<https://doi.org/10.1080/00948705.2022.2055561>
- Maggio, E., y Cavallaro, A. (2011). *Video tracking: Theory and practice*. John Wiley y Sons.
- Maiztegui, A., y Otros, y. (2000). Papel de la tecnología en la educación científica: Una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28, 129-155.
<https://doi.org/10.35362/rie280962>
- Marshall, B. M., Franklyn-Miller, A. D., King, E. A., Moran, K. A., Strike, S. C., y Falvey, É. C. (2014). Biomechanical factors associated with time to complete a change of direction cutting maneuver. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 28(10), 2845-2851.
- Martínez, G., Cortés M., y Pérez, A. (2016). Metodología para el análisis de correlación y concordancia en equipos de mediciones similares. *Universidad y Sociedad*, 8(4), 65-70.
- Martínez, R., y García-Beltrán, A. (2000). *Breve Historia de la Informática*. División de Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid.
- McKeown, I., Taylor-McKeown, K., Woods, C., y Ball, N. (2014). Athletic ability assessment: A movement assessment protocol for athletes. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(7), 862-873.

- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., y McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(5), 603-623. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- Meijer, G. A., Westerterp, K. R., Koper, H., y ten Hoor, F. (1989). Assessment of energy expenditure by recording heart rate and body acceleration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(3), 343-347.
- Merrialdo, R. (2006). *La tecnología aplicada al deporte y a la actividad física* [Licenciatura, Universidad del Salvador]. <https://racimo.usal.edu.ar/2583/>
- Mon, F. M. E., y Cervera, M. G. (2011). *El nuevo paradigma de aprendizaje y las nuevas tecnologías*. 20.
- Mooney, M. G., Hunter, J. R., O'Brien, B. J., Berry, J. T., y Young, W. B. (2011). Reliability and Validity of a Novel Intermittent Peak Running Speed Test for Australian Football. *The Journal of Strength y Conditioning Research*, 25(4), 973-979. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d09dde>
- Mudric, M., Cuk, I., Nedeljkovic, A., Jovanovic, S., y Jaric, S. (2015). Evaluation of Video-based method for the measurement of reaction time in specific sport situation. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 1077-1089. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868852>
- Mujika, I. (2006). Rendimiento en el deporte. *Kronos*, V, 1-10.
- Murphy, A. J., Wilson, G. J., y Pryor, J. F. (1994). Use of the iso-inertial force mass relationship in the prediction of dynamic human performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69(3), 250-257. <https://doi.org/10.1007/BF01094797>
- Núñez, L. F. (1991). Hacia la Sociedad Electrónica. *Tecnología en Marcha*, 11(1), 38-40.

- Oberloier, S., y Pearce, J. M. (2018). General Design Procedure for Free and Open-Source Hardware for Scientific Equipment. *Designs*, 2(1), Article 1.
<https://doi.org/10.3390/designs2010002>
- Olson, D. L., y Rosacker, K. (2013). Crowdsourcing and open source software participation. *Service Business*, 7(4), 499-511. <https://doi.org/10.1007/s11628-012-0176-4>
- Paixão, F. (2004). Mezclas en la vida cotidiana. Una propuesta de enseñanza basada en una orientación Ciencia Tecnología y Sociedad y en la resolución de situaciones problemáticas. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 1(3), 205-212. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i3.04
- Palacios, Á. (2009). Electrónica y programación, una relación que no salta a la vista. *INVENTUM*, 4(6), 10-15.
<https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.4.6.2009.10-15>
- Parchmann, C. J., y McBride, J. M. (2011). Relationship between functional movement screen and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3378-3384. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318238e916>
- Pedro, F. (2006). Aprender en el nuevo milenio: *OECD-CERI*, 19.
- Peres Núñez, W., Hilbert, M. R., OSILAC, Europea, C., y IDRC. (2009). *La sociedad de la información en América Latina y el Caribe: Desarrollo de las tecnologías y tecnologías para el desarrollo*. CEPAL.
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/2537>
- Pérez-Tejero, J., Soto-Roy, J., y Rojo-González, J. (2011). Estudio del tiempo de reacción ante estímulos sonoros y visuales. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 27, 149-162.

- Pino-Ortega, J., y Rico-González, M. (Eds.). (2021). *The Use of Applied Technology in Team Sport*. Routledge. <https://www.routledge.com/The-Use-of-Applied-Technology-in-Team-Sport/Pino-Ortega-Rico-Gonzalez/p/book/9780367742980>
- Pizarro, R., Eymann, A., Rubinstein, F., Belziti, C., Figari, M., Blanco, O., y Durante, E. (2011). Validación de un instrumento para la evaluación de la interpretación de los resultados de estudios de investigación en los residentes de un hospital universitario. *Educación Médica*, 14(3), 171-179.
- Pueo, B. (2016). High speed cameras for motion analysis in sports science. *Journal of Human Sport and Exercise*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.14198/jhse.2016.111.05>
- RAE. (2021). Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario. En «*Diccionario de la lengua española*»—*Edición del Tricentenario*. <https://dle.rae.es/>
- Raspberry. (2022). Raspberry Pi. En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=143571372
- Reche-Soto, P., Cardona-Nieto, D., Diaz-Suarez, A., Bastida-Castillo, A., Gomez-Carmona, C., Garcia-Rubio, J., y Pino-Ortega, J. (2018). Player Load and Metabolic Power Dynamics as Load Quantifiers in Soccer. *Journal of Human Kinetics, Epub: Ahead of Print*. <http://www.doi.org/10.2478/hukin-2018-0072>
- Reig, D. (2010). El futuro de la educación superior, algunas claves. *REIRE*, 3(2), 98-115.
- Reina, R., Sarabia, J. M., Yanci, J., García-Vaquero, M. P., y Campayo-Piernas, M. (2016). Change of direction ability performance in cerebral palsy football players according to functional profiles. *Frontiers in physiology*, 6, 409.
- Rico-González, M., Arcos, A. L., Nakamura, F. Y., Moura, F. A., y Pino-Ortega, J. (2020). The use of technology and sampling frequency to measure variables of tactical

- positioning in team sports: A systematic review. *Research in Sports Medicine*, 28(2), 279-292. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1660879>
- Rico-González, M., Arcos, A. L., Rojas-Valverde, D., y Pino-Ortega, J. (2021). Assessment of the Accuracy and Inter-Unit Agreement of Ultra-Wide Band to Compute Team Positioning in a Basketball Court. *The Open Sports Sciences Journal*, 14(1). <https://benthamopen.com/EPUB/BMS-TOSSJ-2020-16>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Nakamura, F. Y., Arruda Moura, F., Rojas-Valverde, D., y Los Arcos, A. (2020). Past, present, and future of the technological tracking methods to assess tactical variables in team sports: A systematic review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 234(4), 281-290. <https://doi.org/10.1177/1754337120932023>
- Rodríguez, J. (2018). *Equipos eléctricos y electrónicos 2.^a edición (2.^a ed.)*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Rodríguez, P. (2012). La economía del deporte. *Estudios de Economía Aplicada*, 30-2, 387-418.
- Roell, M., Roecker, K., Gehring, D., Mahler, H., y Gollhofer, A. (2018). Player Monitoring in Indoor Team Sports: Concurrent Validity of Inertial Measurement Units to Quantify Average and Peak Acceleration Values. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2018.00141>
- Rojas, L. (25 de agosto del 2023). *Entrevista con entrenador de atletismo nivel II IAAF Luis Rojas Campos* [Grabación telefónica].
- Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. D., Bastida Castillo, A., Nakamura, F. Y., Giménez-Martínez, E., Matabosch-Pijuán, M., Bernal, J. R., y Pino-Ortega, J.

- (2021). A longitudinal analysis and data mining of the most representative external workload indicators of the whole elite Mexican soccer clubs elite Mexican soccer clubS. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 0(0), 1-16.
<https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1996131>
- Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. D., Gutiérrez-Vargas, R., y Pino-Ortega, J. (2019). From big data mining to technical sport reports: The case of inertial measurement units. *BMJ Open Sport y Exercise Medicine*, 5(1), e000565.
<https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000565>
- Rueda-López, J. J. (2007). La tecnología en la sociedad del siglo XXI: Albores de una nueva revolución industrial. *APOSTA: Revista de Ciencias Sociales*, 32, 1-28.
- Russell, I., Jin, K. H., y Sabin, M. (2016). Make and Learn: A CS Principles Course Based on the Arduino Platform. *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 366-366.
<https://doi.org/10.1145/2899415.2925490>
- Salas-Cabrera, J. (2014). Estilos de aprendizaje en estudiantes de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida, Universidad Nacional, Costa Rica. *Revista Electrónica Educare*, 18(3), 159-171.
- Salazar, E. (2012). *Prototipo, el contexto y la ingeniería del software*. 17.
- Saldaña, J. J. (1996). *Historia social de la Ciencia y la Tecnología* (pp. 395-406).
- Salgado, A. S., Berenguer, I. A., Sánchez, A. G., y Fernández, Y. T. (2013). Lógica, algorítmica para la resolución de problemas de programación computacional: Una propuesta didáctica. *Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 4(1), 57-76.

- Sánchez, S. (2009). *Medición del ruido en la línea de transmisión eléctrica generado por electrodomésticos para aplicaciones de PLC* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Las Américas.
- Sánchez, S. (2019). *Fundamentos de electricidad electrónica y conceptos básicos de seguridad*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/108498>
- Schoner, G. (1995). Recent Developments and Problems in Human Movement Science and Their Conceptual Implications. *Ecological Psychology*, 7(4), 291-314.
https://doi.org/10.1207/s15326969eco0704_5
- Schumaker, R. P., Solieman, O. K., y Chen, H. (2010). *Sports Data Mining* (Vol. 26). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6730-5>
- Segura, J. A., y Muñoz, I. B. (2007). Software libre en educación. *Tecnología educativa, 2007*, ISBN 84-481-5613-7, págs. 173-194, 173-194.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2276161>
- Serra, A., y Peña, J. (2006). Fiabilidad test-retest e interevaluador del Test Barcelona. *Neurología*, 21(6), 277-281.
- Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A., y Drummond, C. K. (2019). Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete. *Npj Digital Medicine*, 2(1), Article 1.
<https://doi.org/10.1038/s41746-019-0150-9>
- Sharma, P., Hui, X., Zhou, J., Conroy, T. B., y Kan, E. C. (2020). Wearable radio-frequency sensing of respiratory rate, respiratory volume, and heart rate. *Npj Digital Medicine*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0307-6>
- Sheppard, J. M., Young, W. B., Doyle, T. L. A., Sheppard, T. A., y Newton, R. U. (2006). An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed

- and change of direction speed. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(4), 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.019>
- Spasic, M., Krolo, A., Zenic, N., Delextrat, A., y Sekulic, D. (2015). Reactive Agility Performance in Handball; Development and Evaluation of a Sport-Specific Measurement Protocol. *Journal of Sports Science y Medicine*, 14(3), 501-506.
- Suárez, G. R., Arabia, J. J. M., Alzate, S. G., Teller, D., Calderón, M., Vargas, L., y García, Y. (2021). *Escalas de medición del tiempo de reacción visual y auditiva en deportes relacionados*. 48.
- Supej, M., y Holmberg, H.-C. (2011). A New Time Measurement Method Using a High-End Global Navigation Satellite System to Analyze Alpine Skiing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(3), 400-411. <https://doi.org/10.1080/02701367.2011.10599772>
- Tinning, R. (1986). Discursos que orientan el campo del movimiento humano y el problema de la formación del profesorado. *Revista de Educación*. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/71637>
- Touriñán, J. M. T. (2004). La educación electrónica: Un reto de la sociedad digital en la escuela. *Revista Española de Pedagogía*, 62(227), 31-56.
- Touriñán, J. M. T., y Soto, J. S. (2007). La educación electrónica como ámbito de educación general. *Aula Abierta*, 35(1,2), 9-34.
- Trilling, B., y Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times* (1.^a ed.). Jossey-Bass. <https://www.wiley.com/en-us/21st+Century+Skills%3A+Learning+for+Life+in+Our+Times-p-9780470553916>

- Umek, A., y Kos, A. (2016). The Role of High Performance Computing and Communication for Real-Time Biofeedback in Sport. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2016/4829452>
- Valero, H. D., y Muñoz, J. M. S. (2017). Análisis de la evaluación de potencia en tren inferior: una revisión sistemática. *Revista digital: Actividad Física y Deporte*, 3(2), Article 2. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/rdafd/article/view/371>
- Valverde Chavarría, J. (2011). Software libre, alternativa tecnológica para la educación. *Actualidades Investigativas en Educación*, 5(2). <https://doi.org/10.15517/aie.v5i2.9150>
- Van der Kruk, E., y Reijne, M. M. (2018). Accuracy of human motion capture systems for sport applications; state-of-the-art review. *European Journal of Sport Science*, 18(6), 806-819. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1463397>
- Vanwanseele, B., Op De Beéck, T., Schütte, K., y Davis, J. (2020). Accelerometer Based Data Can Provide a Better Estimate of Cumulative Load During Running Compared to GPS Based Parameters. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fspor.2020.575596>
- Vidal-Silva, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., y 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>
- Vijayraghavan, P. (1999). Noise in electric machines: A Review. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 35(5), 1007-1013.

- Viquez, C. E., y Viquez, C. E. (2018). Tesauro Especializado en Ciencias del Movimiento Humano (TECMH). *E-Ciencias de la Información*, 8(2), 1-18.
<https://doi.org/10.15517/eci.v8i2.30009>
- Wagner, C. S., Brahmakulam, I., Jackson, B., Wong, A., y Yoda, T. (2001). *Science and Technology Collaboration: Building Capacity in Developing Countries* (MR-1357.0-WB; p. 102). Banco Mundial.
- Wei, J. (2014). How Wearables Intersect with the Cloud and the Internet of Things: Considerations for the developers of wearables. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 3(3), 53-56. <https://doi.org/10.1109/MCE.2014.2317895>
- Wilson, W. (2000). La evolución de las tecnologías de información deportiva. *Revista General de la Información y la Documentación*, 10(1), 9.
- Wyld, D. C. (2008). The chips are in: Enhancing sports through RFID technology. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, 9(2), 62-77.
<https://doi.org/10.1108/IJSMS-09-02-2008-B008>
- Xie, J. C. (2011). Applied Design and Research of RFID for Sports Competitions. *Advanced Materials Research*, 213, 182-185.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.213.182>
- Yeadon, M. R., Kato, T., y Kerwin, D. G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 249-257.
<https://doi.org/10.1080/026404199366154>
- Young, W., y Farrow, D. (2006). A Review of Agility: Practical Applications for Strength and Conditioning. *Strength y Conditioning Journal*, 28(5), 24-29.
- Zaki, R., Bulgiba, A., Ismail, R., y Ismail, N. A. (2012a). Statistical methods used to test for agreement of medical instruments measuring continuous variables in method

comparison studies: A systematic review. *PloS One*, 7(5), e37908.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037908>

Zaki, R., Bulgiba, A., Ismail, R., y Ismail, N. A. (2012b). Statistical Methods Used to Test for Agreement of Medical Instruments Measuring Continuous Variables in Method Comparison Studies: A Systematic Review. *PLoS ONE*, 7(5), e37908.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037908>

Zhang, J., Kim, E., Mastromartino, B., Qian, Y., y Nauright, J. (2018). The sport industry in growing economies: Critical issues and challenges. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, 19, 00-00. <https://doi.org/10.1108/IJSMS-03-2018-0023>

Zhang, K., Werner, P., Sun, M., Pi-Sunyer, F. X., y Boozer, C. N. (2003). Measurement of human daily physical activity. *Obesity*, 11(1), 33-40.

Zhang, R., Wu, L., Yang, Y., Wu, W., Chen, Y., y Xu, M. (2020). Multi-camera multi-player tracking with deep player identification in sports video. *Pattern Recognition*, 102, 107260. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107260>

Zhang, Y., Weaver, R. G., Armstrong, B., Burkart, S., Zhang, S., y Beets, M. W. (2020). Validity of Wrist-Worn photoplethysmography devices to measure heart rate: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 38(17), 2021-2034. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1767348>

Zong, X., y Wen, X. (2015). A New Approach to Estimate Real-Time Traveling Speed with Accelerometer. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(10), 928168. <https://doi.org/10.1155/2015/928168>

Zuluaga, J. A. (1992). *Fuentes de electricidad y tipos de corriente eléctrica*. Servicio Nacional de Aprendizaje. Colombia.

ANEXOS

Anexo 1

Código fuente en lenguaje C++

Código Sensor o Puerta 1:

```

/* Código para Emisor de señal de Fococelda E-18D80 que transmitirá por
medio del HC-12
Escrito por Randall Gutiérrez
Sistema de Medición de Intervalos de Tiempo para el Entrenamiento Físico
Mencionar que la fotocelda por defecto esta en "High" que significa que no
detecta.
*/
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial HC12(10, 11); // HC12 TX Pin, HC12 RX Pin
const int e18_sensor = 7; // crea constante para definir que la
fococelda se conectará al pin 7
const int led = 6; // crea constante para definir que el led
piloto se conectará en el positivo en pin 6

void setup() {
  Serial.begin(9600); // inicia el puerto serial en la PC
  HC12.begin(9600); // Inicia el puerto para el HC12
  pinMode(e18_sensor, INPUT); // Define el pin 7 como input
  pinMode(led, INPUT); // define el pin 6 como input
  digitalWrite(led, HIGH); // Enciende pin 6 para que se encienda LED
piloto y corroborar que el sistema está encendido
}

void loop() {
  int estado = digitalRead(e18_sensor); //define la variable "estado" y le
da valor según lectura digital del pin 7, HIGH=1 o LOW=0.

  if (estado == LOW) { //Detecta objeto y entra al IF
    HC12.write(1); //envia un 1 por medio del HC12 a la unidad receptora
    delay(8000);
  }
}

```

Código Sensor o Puerta 2:

```

/* Código para Emisor de señal de Fococelda E-18D80 que transmitirá por
medio del HC-12
Escrito por Randall Gutiérrez
Sistema de Medición de Intervalos de Tiempo para el Entrenamiento Físico
Mencionar que la fotocelda por defecto esta en "High" que significa que no
detecta.
*/
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial HC12(10, 11); // HC12 TX Pin, HC12 RX Pin
const int e18_sensor = 7; // crea constante para definir que la
fococelda se conectará al pin 7
const int led = 6; // crea constante para definir que el led
piloto se conectará en el positivo en pin 6

void setup() {
  Serial.begin(9600); // inicia el puerto serial en la PC
  HC12.begin(9600); // Inicia el puerto para el HC12
  pinMode(e18_sensor, INPUT); // Define el pin 7 como input
  pinMode(led, INPUT); // define el pin 6 como input
  digitalWrite(led, HIGH); // Enciende pin 6 para que se encienda LED
piloto y corroborar que el sistema está encendido
}

void loop() {
  int estado = digitalRead(e18_sensor); //define la variable "estado" y le
da valor según lectura digital del pin 7, HIGH=1 o LOW=0.

  if (estado == LOW) { //Detecta objeto y entra al IF
    HC12.write(2); //envia un 1 por medio del HC12 a la unidad receptora
    delay(8000);
  }
}

```

Código Receptor:

```

/*Código elaborado por Randall Gutiérrez 27-12-2022
Corresponde a un sistema de cronómetro inalámbrico con inicio y parada por 2
fotoceldas.
El sistema inicia con la detección de la primera fotocelda y se detiene con
la detección de la segunda.
Para la comunicación inalámbrica utiliza protocolo de RF con una tarjeta
HC12.
El tiempo se presenta en milisegundo.
Conexiones sensor: Cable Marrón: +5V DC (VCC), Cable Azul: 0V (GND), Cable
Negro: Salida NPN NO (Detección: GND, Reposo: VCC)
*/
unsigned long tTotal, tInicial, tParcial1, tFinal; // Para tiempos
parciales.
const int botonInicio = 8; // Botón de inicio del
sistema
const int botonReset = 9; // Botón de reset el
sistema
const int ledPiloto = 6; // Led piloto para saber
que el sistema esta encendido
const int ledTransm = 5; // Led para saber cuando
esta recibiendo transmisión de datos por HC12
int sensor = 0;
int contador = 0;
int tCorre = 0;

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Dirección I2C 0x27, 16 columnas y 2
líneas.
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial HC12(10, 11); // HC12 TX Pin, HC12 RX Pin

void setup() {

  Serial.begin(9600); // Inicializa puerto serial
  HC12.begin(9600); // Inicializa puerto del HC12
  lcd.init(); // Inicializa la LCD
  lcd.backlight();
  //Se definen las siguientes variables y sus respectivos pines como INPUT
  pinMode(botonInicio, INPUT);
  pinMode(botonReset, INPUT);
  pinMode(ledPiloto, INPUT);
  pinMode(ledTransm, INPUT);

```

```

    digitalWrite(ledPiloto, HIGH);    //Enciende el led piloto para saber
que el sistema es encendido.
    lcd.clear();                      // Limpia la pantalla LCD
    lcd.setCursor(0, 0);              // Coloca curso en display en posición
0,0
    lcd.print("Botón inicio (Azul:"); // Imprime mensaje en LCD
}

void loop() {
    if (digitalRead(botonInicio) == HIGH) { // Al oprimir el botón de inicio
entra al If
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Sistema listo:");
        tTotal = millis();
        while (contador == 0) {
            if (HC12.available()) { // Lee el HC12 para ver si tiene datos
transmitidos desde los sensores
                sensor = (HC12.read()); // Si tiene datos transmitidos los carga en
variable "sensor"
                digitalWrite(ledTransm, HIGH);    //Enciende el led piloto para
saber que el HC12 esta recibiendo datos.
            }

            if (sensor == 1) { // Si sensor en 1 tiene contacto en sensor 1 e
inicia el cronómetro
                lcd.clear();
                lcd.setCursor(0, 0);
                lcd.print("Inició Crono:");
                tTotal = millis();
                tInicial = millis(); // Guarda el tiempo de inicio del cronómetro
                sensor = 0;          // Vuelve sensor a 0 para que siga el bucle
del While
            }
            if (tCorre == 0) {
                lcd.setCursor(0, 1);
                tTotal = millis();
                tParcial1 = tTotal - tInicial; // Calcula el tiempo parcial que
corre y lo imprime en la LCD
                lcd.print(tParcial1);
            }

            if (sensor == 2) { //Si sensor tiene valor de 2 contacto en sensor 2,
detiene cronómetro y calcula el intervalo de tiempo
                lcd.clear();

```

```

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Tiempo final(ms):");
    tTotal = millis();
    tFinal = tTotal - tInicial; //Calcula el intervalo de tiempo final
entre sensor 1 y el 2
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(tFinal);
    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.print("Reset Rojo");
    sensor = 0; // Vuelve sensor a 0 para que siga el bucle del While
    tCorre = 1;
}

if (digitalRead(botonReset) == HIGH) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Botón inicio (Azul):"); // Imprime mensaje en LCD
    contador = 1;
}
digitalWrite(ledTransm, LOW); //Apaga el led piloto para saber
que el HC12 no está recibiendo datos.
} //Cierra while de contador
} //Cierra If botón de inicio
} //Cierra Loop

```

Anexo 2**Certificación Revisión Filológica**

San José, 12 de septiembre de 2023

Sres.
Miembros del Comité de
Proyectos de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido los aspectos referentes a la estructura gramatical, ortografía, puntuación, redacción y vicios del lenguaje del documento denominado: DISEÑO, FABRICACIÓN, CONCORDANCIA Y CONFIABILIDAD DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE INTERVALOS DE TIEMPO EN EL ENTRENAMIENTO FÍSICO, elaborado por el estudiante Randall Gutiérrez Vargas, cédula 107400989. Trabajo final de graduación sometido a la consideración del Tribunal Examinador del Doctorado en Ciencias del Movimiento Humano para optar por el grado de Doctorado Académico.

Respeté, a lo largo del trabajo, el estilo del autor.

Atentamente,

**MAUREEN ESTELA
GONZALEZ JONES
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
MAUREEN ESTELA GONZALEZ
JONES (FIRMA)
Fecha: 2023.09.12 16:19:33 -06'00'

*M. Ed. Mauren González Jones
Cédula 106960420
Carné 0085 - Asociación
Costarricense de Filólogos*