



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE BIOMEDICINA

**DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE
PARÁMETROS DEL SALTO VERTICAL “UPSJUMP”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Biomédico

AUTOR: PABLO FABIÁN MOSCOSO FERNÁNDEZ SALVADOR

TUTORA: ING. ANA CECILIA VILLA PARRA, PHD.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Fabián Moscoso Fernández Salvador con documento de identificación N° 0104431507, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 31 de julio del 2024

Atentamente,



Pablo Fabián Moscoso Fernández Salvador

0104431507

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Pablo Fabián Moscoso Fernández Salvador con documento de identificación N° 0104431507, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Desarrollo del prototipo de un dispositivo para la medición de parámetros del salto vertical “UPSJUMP””, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biomédico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2024

Atentamente,



Pablo Fabián Moscoso Fernández Salvador

0104431507

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ana Cecilia Villa Parra con documento de identificación N° 0103874194, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL SALTO VERTICAL “UPSJUMP”, realizado por Pablo Fabián Moscoso Fernández Salvador con documento de identificación N° 0104431507, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 31 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Ana Cecilia Villa Parra, PhD.

0103874194

DEDICATORIA

Quiero dedicar primeramente este proyecto a mi Dios que me regalado tantas oportunidades para ser una mejor persona, es la base de mi vida.

A mis Padres Víctor Miguel Moscoso Granda y Nidya Fernández Salvador Domínguez por darme todo su amor y esfuerzo me han llevado por el camino correcto, los quiero mucho.

A mi hermano el Ing. Jorge Fernando Moscoso Fernández Salvador, PhD; quien con su ejemplo y apoyo me ha ayudado incondicionalmente, le quiero mucho.

A mi tío el Ing. Jorge Leoncio Fernández Salvador Domínguez, Mgtr; quien es un pilar fundamental para cumplir con esta meta tan anhela, le quiero mucho.

A mi hijo Pablito Moscoso quien me empuja a nuevos retos, le quiero mucho.

Y a toda mi familia con los que he vivido los momentos más bonitos de mi vida, los llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por estar conmigo y darme la oportunidad de superar todos los problemas en esta vida estudiantil, para llegar a esta meta tan deseada.

Agradezco a mi familia que con su amor, paciencia y apoyo incondicional me han empujado a descubrir mis habilidades.

Agradezco con mucho cariño y respeto a todas las personas que han formado parte de esta etapa universitaria, con principal énfasis a los docentes que me brindaron sus conocimientos para poder avanzar en experiencia y sabiduría. Que sigan guiando a muchos estudiantes más a cumplir sus sueños.

Finalmente, Agradezco a mi tutora de Proyecto de Titulación, la Dra. Ana Cecilia Villa Parra, quien siempre ha estado dispuesta a apoyarme y a dar solución a todas las dificultades que se han presentado en este proceso.

Índice

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
Índice de figuras.....	10
Índice de tablas.....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
1. Introducción.....	14
2. Problema de estudio	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Descripción del problema.....	16
2.3. Importancia y Alcances	17
2.4. Delimitación	18
2.4.1. Espacial	18
2.4.2. Temporal.....	18
2.4.3. Poblacional	18
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos Específicos.....	18
4. Hipótesis.....	19

4.1.	Hipótesis General	19
4.2.	Hipótesis Específicas.....	19
5.	Marco Teórico	20
5.1.	Biomecánica del Ejercicio del Salto.....	20
5.2.	Tecnología para la medición del ejercicio del salto.....	27
5.3.	Plataformas de fuerza	30
5.4.	Parámetros para calcular el salto vertical.....	31
5.4.1.	Altura del Salto.....	31
5.4.2.	Tiempo de Vuelo	31
5.4.3.	Fuerza de Despegue.....	32
5.4.4.	Velocidad de Despegue	32
5.4.5.	Tiempo de Contacto	32
6.	DESARROLLO.....	33
6.1.	Diseño del Prototipo del Dispositivo UPSJUMP	33
6.2.	Estructura Mecánica.....	34
6.3.	Circuito Electrónico	36
6.4.	Interfaz del usuario.....	41
6.5.	Calibración	44
6.6.	Protocolo para la captura de señales y comparación entre el prototipo UPSJUMP (UJ) y el dispositivo OPTOJUMP (OJ).....	45
6.7.	Protocolo para la evaluación del prototipo UJ	45
7.	RESULTADOS.....	47
7.1.	Evaluación del UPSJUMP.....	48
8.	Prueba de usabilidad.....	61
9.	Presupuesto.....	62
10.	Conclusiones	63

11. Recomendaciones.....	64
12. Referencias.....	65
13. Anexos.....	71
Anexo 1. Diseño de impresiones para celdas de carga de 50 kg.....	71
Anexo 2. Consentimiento informado para realización de pruebas.....	72
Anexo 3. Encuesta SUS.....	74
Anexo 4. Manual de usuario y mantenimiento UPSJUMP	75
Introducción.....	75
Video tutorial.....	75
Mantenimiento del dispositivo	75
Opciones avanzadas	76

Índice de figuras

Figura 1. Definición de segmentos y articulaciones para el salto	20
Figura 2. Fases del salto	22
Figura 3. Plataforma de fuerza de bajo costo diseño con las cuatro células de carga (a) y sus respectivas dimensiones (mm) y geometría (b); (c) calibrador ensayado fijado en la parte superior de la plataforma de fuerza	27
Figura 4. a) Izquierda: convención de Joints manejada por el archivo BVH capturado a través del sensor Kinect. Derecha: sistema coordenado del sensor Kinect, b) Interfaz para análisis de movimiento utilizando el sensor Kinect	27
Figura 5. Acelerómetro de un teléfono móvil a la zona lumbar para la cuantificación de la carga en saltos.....	28
Figura 6. Dispositivo comercial OptoJump.....	28
Figura 7. Axon Jump	28
Figura 8. GymAware Powertool.....	30
Figura 9. Parámetros del salto vertical	31
Figura 10. Diagrama de bloques del sistema UPSJUMP	33
Figura 11. Estructura del tablero del UPSJUMP	34
Figura 12. Caja impresa en PLA	35
Figura 13. Celda de carga.....	35
Figura 14. Circuito electrónico.....	36
Figura 15. a) Placa con conector, peinetas y switch, b) Módulo Hx711 y Arduino ESP32	37
Figura 16. Modificación en el módulo Hx711	37
Figura 17. Cables conectores	38
Figura 18. Rutina para la medición de peso.....	39
Figura 19. Rutina para la medición del tiempo de vuelo.....	40
Figura 20. Rutina para el cálculo de la potencia	40
Figura 21. Rutina para la configuración del programa y conexión con Thingsboard.....	41
Figura 22. Interfaz de la plataforma Thingsboard.....	42
Figura 23. Interfaz del usuario	42
Figura 24. Código de seguridad token	43
Figura 25. Edición de parámetros en interfaz Thingsboard	44
Figura 26. Arreglo de los dispositivos UPSJUMP (UJ) - OPTOJUMP (OJ)	45

Figura 27. Dispositivo UPSJUMP	48
Figura 28. Pruebas de salto	49
Figura 29. (a) resultados del registro de peso con los equipos UJ y OJ (Kg); (b) Dispersión de datos; (c) Diagrama de cajas.....	52
Figura 30. (a) Registros del tiempo de vuelo (s) con los equipos UJ y OJ en la primera evaluación; (b) Dispersión de datos; (c) Diagrama de cajas	53
Figura 31. (a) Altura - Salto UJ-OJ (cm); (b) Dispersión de datos; (c) Diagrama de cajas ...	54
Figura 32. (a) Registro de la Potencia UJ-OJ (W/Kg); (b) Dispersión de datos; (c) Diagrama de cajas	55
Figura 33. Resultados de la segunda evaluación con los participantes 18 y 30 (a) peso (Kg); (c) tiempo de vuelo (s); altura del salto (cm); potencia (W/Kg)	58
Figura 34. Comparación de los resultados obtenidos en la primera y segunda evaluación con los participantes 18 y 30 (a) peso (Kg); (c) tiempo de vuelo (s); altura del salto (cm); potencia (W/Kg).....	60

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de salto y su biomecánica	21
Tabla 2. Biomecánica del salto vertical.....	26
Tabla 3. Tecnología para la medición del ejercicio del salto.....	29
Tabla 4. Tabla de resultados de la primera evaluación	51
Tabla 5. Comparación de la primera y segunda evaluación	57
Tabla 6. Valoración del cuestionario SUS	61
Tabla 7. Detalle del presupuesto para desarrollar el UPSJUMP	62

RESUMEN

La actividad física en las personas ha representado a través del tiempo el mejor método preventivo contra las enfermedades. De acuerdo con las necesidades y/o preferencias existen diferentes disciplinas deportivas para las cuales se pueden entrenar de forma combinada o específica las capacidades físicas de fuerza, resistencia, velocidad y flexibilidad. Entre las disciplinas que combinan estas capacidades están el atletismo, baloncesto y voleibol, en las cuales la evaluación de su rendimiento depende de la evaluación del ejercicio del salto vertical. Para este caso, el registro de parámetros como el tiempo de vuelo, la altura de salto y la potencia específica son clave. Este trabajo propone el desarrollo de un prototipo de dispositivo biomecánico denominado UPSJUMP (UJ) que mide los parámetros antes mencionados. El dispositivo UJ fue diseñado e implementado utilizando cuatro celdas de carga, un sistema microcontrolador Arduino y una interfaz desarrollada en Thingsboard.cloud. Posteriormente se realizó un estudio técnico de evaluación física de saltos verticales con treinta participantes para comparar las mediciones de tiempo de vuelo (ms), altura de salto (cm) y potencia específica (W/kg) del UJ con sistema de obtención óptica de datos denominado “OPTOJUMP” (OJ) como dispositivo patrón. Los resultados del análisis estadístico indican una correlación positiva de tiempo de vuelo de 0,7; para la altura de salto de 0,9 y para la potencia específica 0,7; resultados que permiten corroborar la validez de las mediciones del dispositivo UJ.

Palabras claves: salto, biomecánica, potencia específica, celdas de carga, tiempo de vuelo.

ABSTRACT

Physical activity in people has represented through time the best preventive method against diseases. According to the needs and/or preferences, there are different sports disciplines for which the physical capacities of strength, endurance, speed and flexibility can be trained in a combined or specific way. Among the disciplines that combine these capacities are athletics, basketball and volleyball, in which the evaluation of their performance depends on the evaluation of the vertical jump exercise. For this case, the recording of parameters such as flight time, jump height and specific power are key. This work proposes the development of a prototype biomechanical device called UPSJUMP (UJ) that measures the aforementioned parameters. The UJ device was designed and implemented using four load cells, an Arduino microcontroller system and an interface developed in Thingsboard.cloud. Subsequently, a technical study of physical evaluation of vertical jumps was performed with thirty participants to compare the measurements of flight time (s), jump height (cm) and specific power (W/kg) of the UJ with optical data acquisition system called "OPTOJUMP" (OJ) as a standard device. The results of the statistical analysis indicate a positive correlation of flight time of 0.7 for jump height of 0.9 and for specific power of 0.7, which allow us to corroborate the validity of the UJ device measurements.

Keywords: jumping, biomechanics, specific power, load cells, flight time.

1. Introducción

Uno de los aspectos más destacados del deporte es el salto vertical, que es una habilidad esencial en varias disciplinas deportivas, como el baloncesto, el voleibol y el atletismo (Girard et al., 2006) y su medición precisa y objetiva es fundamental para el desarrollo y el rendimiento de los deportistas. La evaluación de la capacidad neuromuscular a través del salto vertical proporciona información valiosa sobre variables como la altura del salto, la potencia, la velocidad y la fuerza máxima. Estos datos son cruciales para los entrenadores y los atletas, ya que permiten identificar áreas de mejora y ajustar el entrenamiento de manera más efectiva. Además, el control del salto vertical, especialmente el salto con contra movimiento (CMJ), permite monitorizar el grado de fatiga del deportista y ajustar la carga de entrenamiento en consecuencia, lo que ayuda a prevenir el sobre entrenamiento y optimizar el rendimiento (Impellizeri et al., 2008).

Para analizar el salto vertical se utiliza la evaluación de la fuerza explosiva de los músculos extensores del tren inferior de las personas (García & Villa, 2003) y existen numerosos estudios longitudinales para evaluar los efectos en variados programas de entrenamiento (Impellizeri et al., 2008), en los cuales se incluye la fatiga generada por el esfuerzo físico (Girard et al., 2006).

A la hora de medir el salto vertical, existen tres fundamentos principales (García-Lopez et al., 2003 y 2004) que son:

- a. Agrupación numérica, para la cual se usan plataformas de fuerza y se considera el método de referencia para obtener la altura del salto, su inconveniente primordial es la necesidad de equipos sofisticados.
- b. Contraste de marcas, que requiere diversas evaluaciones como en el Test de Sargent o el Test de Abalakov y presenta la dificultad de comparar resultados entre diferentes tests debido a la variabilidad en la zona del cuerpo utilizada para marcar (Klavora, 2000).
- c. Tiempo de vuelo, que requiere plataformas de contacto mecánicas (García-López et al., 2005) u opto eléctricas (Impellizeri et al., 2008).

El tiempo de vuelo y la diferencia de marcas son los métodos más utilizados fuera del laboratorio debido a la simplicidad y bajo costo del material necesario (Aragon-Vargas, 2000; Klavora, 2000).

El tiempo de vuelo tiene la ventaja de proporcionar una medida más objetiva de la altura del salto y es un procedimiento más válido y fiable (Aragón & Gonzáles, 2023). Además, se necesita una fuerza determinada para activar el circuito mecánico, la cual varía en función de la masa de las personas que saltan (García-López et al., 2005). En cuanto al uso de los dispositivos opto eléctricos para registrar tiempos de vuelo, aún no se conoce completamente su impacto, a pesar del incremento en su uso durante los últimos años, formando parte de la metodología de numerosos estudios científicos (Dal Monte et al., 2002; Maffiuletti et al., 2002; Girard et al., 2005 y 2006; Lafortuna et al., 2005; Lehance et al., 2005; Marginson et al., 2005; Tessitore et al., 2005, 2007a, 2007b y 2007c; Ruiz et al., 2006; Artero et al., 2007; Rampinini et al., 2007; Bertucci et al., 2008; Buchheit et al., 2008; Impellizzeri et al., 2008; Sartorio et al., 2008). Es probable que estos dispositivos opto eléctricos subestimen el tiempo de vuelo del salto, debido a que deben colocarse ligeramente elevados sobre el suelo, como se ha observado en estudios donde se usaron para medir los tiempos de apoyo y de vuelo en la carrera (Viitasalo et al., 1997).

Por lo mencionado, es necesario seguir realizando estudios que permitan validar los dispositivos que son utilizados para medir la saltabilidad de los deportistas y comprender mejor los procesos relacionados a esta actividad. La variedad de dispositivos que incorporan diferentes tecnologías para registrar los tiempos de vuelo en el salto y su uso frecuente en estudios científicos, hacen necesaria validar la precisión y fiabilidad de dispositivos como el propuesto para asegurar una interpretación óptima de los resultados de cada investigación (Zatsiorsky y Fortney, 1993).

2. Problema de estudio

2.1. Antecedentes

La actividad física en los seres humanos representa conservar la salud corporal y mejorar la calidad de vida. Las disciplinas deportivas engloban actividades físicas con reglas y normas definidas, lo que promueve un desempeño eficiente y una vida saludable (Pabón, 2023). A lo largo de los años, diversas disciplinas en el marco de las competencias han permitido a los competidores mejorar sus cualidades físicas y aptitudes mediante evaluaciones de rendimiento (Garrido, 2018).

Se han desarrollado métodos y dispositivos para el análisis y evaluación del rendimiento deportivo (Valero, 2018). Un ejemplo de un método para evaluación deportiva son las pruebas de salto, que evalúan la capacidad de un individuo para elevarse del suelo. Estas pruebas implican la flexión y la extensión de las piernas con variaciones en la posición de los brazos y el torso, parámetros que se analizan para evaluar el rendimiento (Granja y Morales, 2022).

Las evaluaciones de salto en deportistas están relacionadas con la determinación de la fuerza y velocidad del tren inferior y son esenciales para obtener una estimación previa a la competencia, así como para evaluar la plasticidad neuromuscular en programas de entrenamiento (Valero, 2018). También son útiles para monitorear factores de riesgo de lesiones musculoesqueléticas y para procesos de rehabilitación (García, 2018).

Una medida confiable para predecir la potencia muscular es la altura del salto vertical que puede ser de varios tipos, como el salto desde posición de cuclillas (Squat jump), el salto con contra movimiento (Counter-movement jump), el salto desde altura (Drop jump) y el salto repetido (Repeat jump) que se han utilizado en pruebas estandarizadas de rendimiento deportivo (Rolong et al., 2019).

Es importante destacar que la preparación inadecuada de los deportistas a menudo radica en la falta de evaluaciones de salto, las cuales son esenciales para mantener y mejorar constantemente el desempeño físico. Entre los conflictos más sobresalientes esta que los equipos de evaluación del salto poseen un alto costo de adquisición y un complicado mantenimiento (adquisición de componentes), lo que dificulta la evaluación gradual del desempeño de los deportistas.

2.2. Descripción del problema

La evaluación de saltabilidad es un método poco utilizado en nuestro país para formalizar la preparación física en los deportistas debido a limitaciones en tecnología, lo cual no facilita el crecimiento deportivo. De ahí que es importante aportar a las metodologías utilizadas para evaluar el salto vertical con un prototipo de dispositivo para medir parámetros del salto que nuestros atletas puedan utilizar en sus entrenamientos.

2.3. Importancia y Alcances

La saltabilidad en el marco del entrenamiento es un método para determinar en los deportistas su potencia en el rendimiento en las actividades físicas (Moreno et al., 2021). Esto ayuda a evaluar aptitudes o patologías a fin de mejorar las destrezas (Betancur et al., 2020) y determinar una mayor capacidad de dominio en un encuentro deportivo en deportes como el fútbol, baloncesto y voleibol (García y García, 2023).

Los tipos de saltabilidad que se pueden evaluar son los siguientes: vertical, horizontal, estática y en movimiento, existiendo variaciones y combinaciones entre estas (Parra, 2023). La fuerza, elasticidad, velocidad, reacción y resistencia determinan en una persona, mayores aptitudes para saltar (Romero y Andreu, 2023) y para entenderla es importante conocer sobre la pliometría, inicialmente como entrenamiento de multisaltos. Estos últimos deben ser progresivos, partiendo de ejercicios sencillos como saltos y movimientos simples (en una dirección o sentido) en periodos cortos de duración (CHU, 2006, pp. 8-9).

Cuando el atleta presenta mayor experiencia y maduración muscular, la preparación física debe ser más compleja y específica incluyendo saltos combinados con movimientos complejos, cambios de dirección, cambios de velocidad y el uso de peso extracorporal en tiempos prolongados (CHU, 2006, pp. 8-9).

En el ámbito de la evaluación de la saltabilidad en deportistas, existen múltiples dispositivos y herramientas especializadas, de tal suerte que la Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que la oferta específica puede llegar a ser mayor a 10,000 tipos; algunos de los más importantes se detallarán en el marco teórico. A pesar de esta cantidad y variedad de equipos e implementos en nuestro medio se requiere generar tecnología que agilite la obtención de parámetros en el ejercicio del salto para acelerar el progreso de nuestros deportistas.

2.4. Delimitación

2.4.1. Espacial

El desarrollo y ejecución del dispositivo UPSJUMP se efectuó en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), ubicada en la ciudad de Cuenca provincia del Azuay.

2.4.2. Temporal

El tiempo estimado para el alcance de los objetivos planteados es alrededor de 4 meses.

2.4.3. Poblacional

La muestra está conformada por mujeres y hombres entre 18 a 40 años, entre los cuales participaron docentes y estudiantes de la UPS.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Desarrollar el prototipo de un dispositivo biomecánico denominado “UPSJUMP” para la medición de parámetros en el ejercicio del salto vertical.

3.2. Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte sobre la biomecánica del ejercicio del salto vertical y las tecnologías para la medición de parámetros que permitan su evaluación.
- Diseñar e implementar la estructura mecánica, electrónica y una interfaz del usuario del prototipo del dispositivo biomecánico denominado UPSJUMP para la medición de parámetros en el ejercicio del salto vertical.

- Realizar pruebas del dispositivo UPSJUMP que permitan validar los parámetros medidos en el ejercicio del salto vertical.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- El dispositivo UPSJUMP mide los parámetros en el ejercicio del salto vertical.

4.2. Hipótesis Específicas

- El uso del dispositivo UPSJUMP agiliza la evaluación efectiva de los deportistas
- El equipo presenta características óptimas de usabilidad para manejarlo y mantenerlo a través del tiempo.
- El software presenta una interfaz sencilla con opciones de acuerdo con las necesidades y posibilidades del usuario para el procesamiento de los datos.

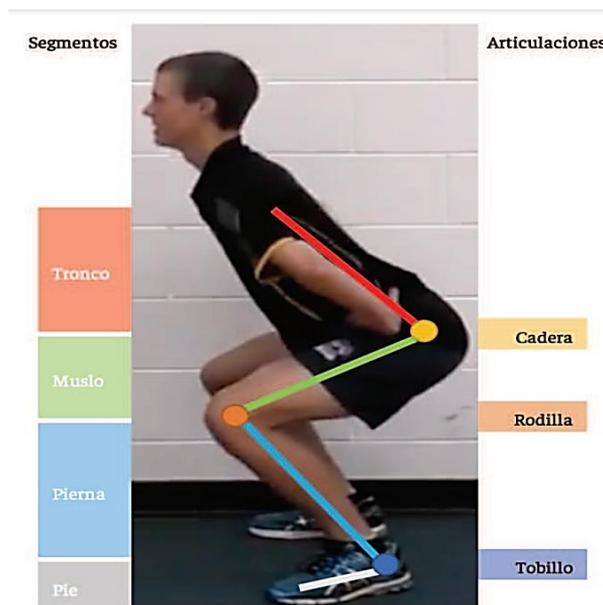
5. Marco Teórico

5.1. Biomecánica del Ejercicio del Salto

El salto es una disciplina originada en el ámbito del atletismo (Castañeda y García, 2020), que implica una proyección longitudinal hacia un espacio predeterminado. Dentro de este contexto, (Wondirad et al. 2021) mencionan que el salto vertical se erige como una habilidad motora fundamental desempeñando un papel esencial en diversas disciplinas. El salto vertical es una acción biomecánica que implica el despegue del suelo con el propósito de elevar el cuerpo en la dirección vertical.

En la Figura 1 se muestran los segmentos corporales y las articulaciones que actúan para ejecutar el salto:

Figura 1. Definición de segmentos y articulaciones para el salto



Tomado de (Picón-Martínez et al., 2019).

Cada etapa del movimiento vertical puede ser analizada mediante un modelo biomecánico único que facilita su descripción de manera adaptada a su dinámica (Picón-Martínez et al., 2019) que

implica tres fases: la fase de despegue, la fase de vuelo y la fase de aterrizaje. Pérez-Contreras et al. (2021) mencionan que la fase de despegue se modela utilizando un sistema masa-resorte que representa el cuerpo como una masa conectada a un resorte. La fase de vuelo se representa con un modelo de tiro balístico para estudiar la trayectoria del salto, considerando la influencia de la gravedad y la velocidad inicial. La fase de aterrizaje se caracteriza mediante un modelo masa-resorte amortiguado que tiene en cuenta la capacidad del cuerpo para absorber y disipar la energía al hacer contacto con la superficie. Existen varios tipos de salto, que son estudiados desde la biomecánica, en la Tabla 1 se presenta la descripción de estos los tipos de dispositivos y sus características.

Tabla 1. *Tipos de salto y su biomecánica*

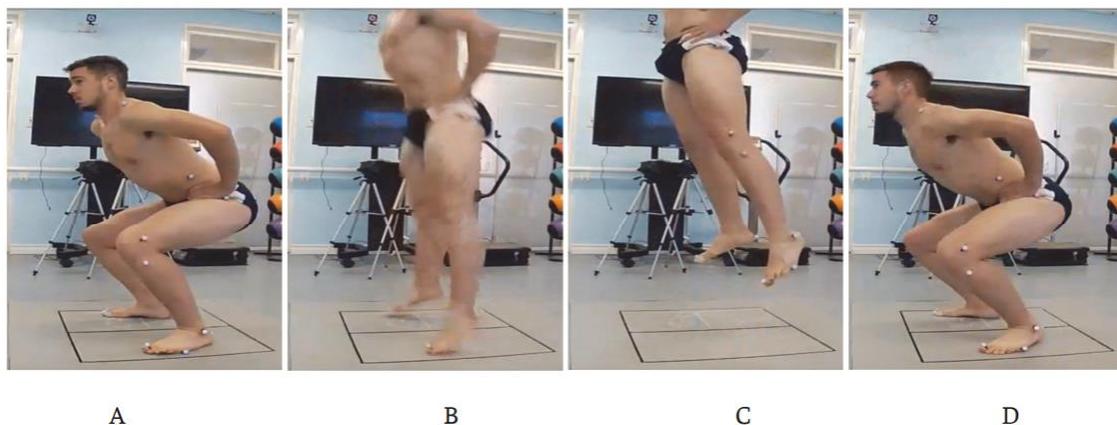
Tipo de Salto	Descripción	Características Biomecánicas
Salto Vertical desde Parado (SJ)	Salto vertical sin contra movimiento inicial	- Mayor énfasis en la fuerza explosiva - Menos implicación de la fase excéntrica
Contra movimiento (CMJ)	Salto vertical con una flexión previa antes del impulso	- Aprovechamiento de la elasticidad muscular - Mayor contribución de la fase excéntrica
Abordaje (ABK)	Similar al SJ, pero con un pequeño paso de aproximación	- Combina características del SJ y el CMJ - Puede proporcionar un rendimiento intermedio
Salto Vertical Repetido (RJ)	Realización de saltos verticales de manera repetida	- Evalúa la fatiga y consistencia del rendimiento - Puede mostrar cambios en la técnica con la fatiga
Salto Pliométrico (DJ)	Combina el salto vertical con elementos pliométrico	- Enfoque en la potencia explosiva y la velocidad - Mayor implicación de la cadena cinética
Salto Unilateral	Salto realizado con una sola pierna	- Permite evaluar desequilibrios de fuerza - Enfocado en la estabilidad y fuerza unilateral.
Salto Horizontal	Medición de la distancia horizontal alcanzada en el salto	- Evalúa la fuerza y potencia en dirección horizontal - Requiere una proyección eficiente del cuerpo
Salto con Obstáculos	Involucra superar obstáculos durante el salto	- Añade desafíos adicionales a la técnica de salto - Implica coordinación y control
Salto con Rotación	Incluye giros o rotaciones durante el salto	- Enfocado en la agilidad y coordinación - Mayor demanda en el control del cuerpo
Salto con Carga Adicional	Realizado con resistencia, como pesas o bandas elásticas	- Evalúa la fuerza y potencia en condiciones desafiantes - Puede aumentar la demanda en la cadena cinética

El salto alto se explica principalmente por la fuerza muscular de las extremidades inferiores. Los músculos más importantes involucrados son los cuádriceps, que proporcionan la fuerza de extensión de la rodilla necesaria para impulsarse hacia arriba, y los glúteos y músculos isquiotibiales, que generan la fuerza de extensión de la cadera y contribuyen a la potencia del salto (Flores, et al., 2023, p. 70).

El salto es una tarea compleja que requiere una sincronización de los segmentos corporales, abarcando las fases de impulso, vuelo y aterrizaje (Kozlova E y Kozlova K, 2020). La eficacia del salto se mide a través de la altura alcanzada, intrínsecamente vinculada a la velocidad del centro de gravedad (COG por sus siglas en inglés) al momento de la separación de los pies del suelo.

En la Figura 2 se muestra la secuencia de las fases del salto (Campos, Campos, & Gutiérrez, 2022).

Figura 2. Fases del salto



Nota: A) Posición inicial, B) Instante despegue. C) Instante en altura máxima. D) Fin del gesto de salto.

Tomado de: (García López, 2023).

En la fase de impulso, los músculos desempeñan un papel crucial al acelerar el centro de gravedad hacia arriba, sobre el polígono de soporte formado por los pies en la fase de vuelo. La fase de impulso se refiere al momento en el que el atleta genera fuerza y velocidad para elevarse desde el suelo, durante esta fase, el atleta realiza una acción de impulso con los pies, aprovechando la fuerza explosiva para desplazarse hacia arriba (García, Herrera, & Ruiz, 2021, p. 908). Esta acción es fundamental para generar la velocidad vertical necesaria para superar la altura del salto. La fase de impulso es una parte crucial del salto vertical, ya que determina en

gran medida el rendimiento y la altura alcanzada durante el salto (Fernández, Martín, Rodríguez, & Sánchez, 2020, p. 2).

La fase de aterrizaje implica una interacción vital entre las articulaciones de la rodilla y el tobillo.

El salto, ya sea vertical o horizontal, mejora con la edad y los años de entrenamiento, pero solo hasta cierto punto. Los jóvenes atletas tienden a tener un mejor rendimiento en pruebas de salto en comparación con adultos mayores, debido a su mayor masa muscular, fuerza y potencia. Sin embargo, los adultos mayores que han mantenido un entrenamiento regular pueden conservar una buena capacidad de salto en comparación con sus pares sedentarios. El entrenamiento de fuerza y potencia es clave para mantener un buen rendimiento en pruebas de salto a lo largo de la vida (Flores, et al., 2023, p. 73).

Para la evaluación del salto se pueden emplear tecnología como los sistemas para captura de movimiento, plataformas tridimensionales y sistemas de modelado de simulación para analizar el rendimiento cinemático y dinámico Zhao et al. (2021), Moolyk y Chiu (2021).

Hidalgo et al. (2022) analizaron el salto en largo como una disciplina que combina la carrera y el salto con el objetivo de alcanzar la mayor distancia posible. Este se inicia en la infancia, con etapas de iniciación, perfeccionamiento y especialización durante el desarrollo atlético. El proceso del salto se divide en las siguientes fases: la carrera de aproximación, el rechazo o despegue, la fase de vuelo con técnicas natural, colgado y caminando en el aire, y la caída. Cada fase tiene objetivos específicos, como lograr velocidad controlada, maximizar la velocidad vertical y prepararse para una eficiente caída. Se describen siete metodologías para el entrenamiento, desde saltar aros de un pie a otro hasta realizar saltos con obstáculos y caídas al foso. Los mismos autores también analizaron diferentes movimientos articulares en tres fases del salto, cada uno con sus respectivas articulaciones, músculos involucrados, plano de movimiento y eje correspondiente. En la fase 1, se observa extensión del hombro, pronación de la articulación radiocubital proximal, extensión de codo, extensión de la columna, flexión de cadera y extensión de rodilla. En la fase 2, se repiten algunos movimientos, pero la articulación glenohumeral muestra flexión del hombro. En la fase 3, se vuelve a la extensión del hombro, pronación, extensión de codo, flexión de cadera y flexión de rodilla. Estos movimientos articulares son cruciales para comprender la biomecánica del salto vertical con doble apoyo.

Gutiérrez-Dávila et al. (2019) han examinado el impacto de la contribución segmentaria y la carrera previa en la biomecánica del salto vertical con doble apoyo. Se llevaron a cabo dos tipos de saltos: el Drop Jump (DJ), en el cual los sujetos se dejaban caer desde una altura, y el Hop Style Jump (HSJ), donde los sujetos partían de una carrera previa. Cuando los saltos se ejecutaban con el estilo HSJ, se observó un aumento del 14% en la altura alcanzada por el centro de masas (CM). La altura del CM en el despegue contribuyó en un 24%, mientras que la velocidad vertical del CM contribuyó en un 76% a la altura del salto. Finalmente, el modelo de salto con carrera previa facilita que la velocidad vertical del CM sea positiva antes de iniciar el impulso de aceleración. Finalmente, Baeza Mardones et al. (2020), analizaron el salto horizontal desde una perspectiva biomecánica, concluyeron que este análisis proporciona una comprensión detallada sobre cómo mejorar el rendimiento en el salto horizontal a través de ejercicios específicos.

En sus hallazgos, sobre la articulación de la rodilla, destaca acciones musculares, tipos de contracción y planos de movimiento. Se centran en la importancia de la fuerza concéntrica y excéntrica del cuádriceps para optimizar el salto, proponiendo ejercicios como las sentadillas con salto. Luego, abordan el momento de fuerza en ejercicios como la sentadilla, destacando la relevancia de la potencia y la sincronización muscular. Recomiendan realizar descensos controlados con pesos sub-máximos para mejorar la fuerza excéntrica y fortalecer los músculos estabilizadores.

En el análisis de la articulación de la cadera, se centran en la extensión y flexión, resaltando la importancia del glúteo mayor. Sugieren ejercicios como el peso muerto en potencia para mejorar la rapidez en la extensión de la cadera. Con respecto al hombro, subrayan su papel en la fase de desaceleración y el inicio de la caída durante el salto. Recomiendan ejercicios con mancuernas para trabajar la potencia y velocidad en la flexión del hombro. Por último, examinan el momento de fuerza en la articulación del hombro, destacando la importancia de una flexión veloz para lograr un desplazamiento horizontal efectivo.

Se hace hincapié en la necesidad de realizar estos ejercicios bajo la supervisión de profesionales para mantener una postura adecuada y se sugiere la incorporación de rutinas anaeróbicas para mejorar la fuerza excéntrica y fortalecer el sostén muscular.

Uriarte Gutiérrez (2020) mencionan que, desde la perspectiva biomecánica, es esencial comprender las metodologías de medición de la altura del salto vertical y analizar los factores

que afectan su confiabilidad y validez, ya que son componentes clave de numerosos protocolos que evalúan la calidad neuromuscular. Existen tres metodologías básicas para determinar la altura de salto (Uriarte, 2020): la diferencia de marcas, la integración numérica y el tiempo de vuelo. Estas se describen detalladamente en cuanto a sus procedimientos, se analizan sus similitudes y diferencias, y se proponen mejoras para investigaciones futuras.

En conclusión, la integración numérica de la curva fuerza-tiempo de la fase de batida del salto vertical puede considerarse como el método de referencia, especialmente al analizar los saltos verticales realizados desde posición de parado, como el SJ (salto vertical desde parado), el CMJ (contramovimiento) y el ABK (abordaje).

En la Tabla 2 se describe la mecánica del salto vertical especificando los tipos de acciones, de contracción y palanca que se intervienen en el salto.

En resumen, la fuerza muscular de las piernas y muslos tiende a disminuir con la edad, especialmente después de los 50 años, debido a la pérdida natural de masa muscular conocida como sarcopenia, sin embargo, los músculos de la cintura pélvica muestran una tendencia de "baja-alta-baja" en términos de tensión, con mayor fuerza en la juventud, disminución en la edad media, y posible aumento en la vejez por estrategias compensatorias. El rendimiento en pruebas de salto vertical mejora con la edad y el entrenamiento, pero solo hasta cierto punto. Los jóvenes atletas tienden a saltar más alto que los adultos mayores debido a su mayor masa muscular, fuerza y potencia, pero los mayores que entrenan regularmente pueden mantener una buena capacidad de salto. Los músculos clave son los cuádriceps para la extensión de rodilla, glúteos e isquiotibiales para la extensión de cadera, y el iliopsoas para la flexión de cadera y estabilidad del tronco. Varios estudios analizan la biomecánica del salto vertical, identificando diferencias en el trabajo de las extremidades inferiores entre tareas como aterrizajes en caída vs cargas de potencia, y el impacto de la carrera previa en la altura alcanzada. Se proponen metodologías de entrenamiento y ejercicios específicos para mejorar la fuerza y potencia de los músculos involucrados

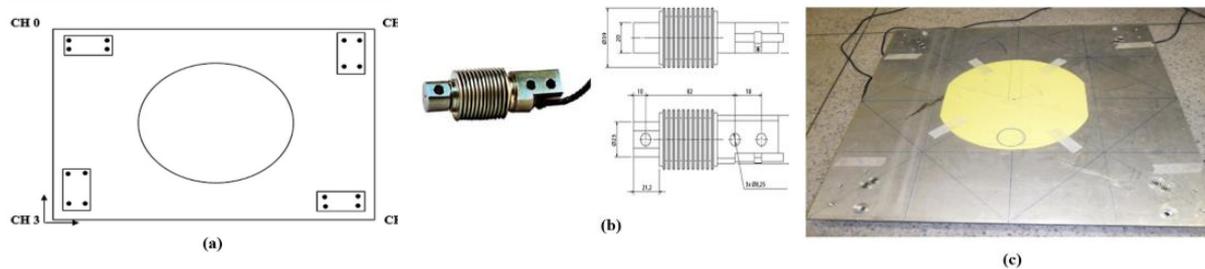
Tabla 2. Biomecánica del salto vertical

Articulación	Coxofemoral	Tipo de articulación			Enartrosis (triaxial)				
Acciones				Grupo Muscular				Espacio del movimiento	
Fase	Tipo de acción	Tipo de contracción	Tipo Palanca	Agonista	Antagonista	Sinérgico	Fijador	Plano	Eje
1	Flexión	Concéntrica	Tercer tipo	Deltoides anterior	Deltoides posterior	Coracobraquial supraespinoso	Dorsal ancho	Sagital	Perlateral
2	Flexión	Excéntrica	Tercer tipo	Deltoides posterior	Deltoides anterior	Redondo mayor Dorsal ancho	Trapecio	Sagital	Perlateral
3	Flexión	Excéntrica	Tercer tipo	Deltoides posterior	Deltoides anterior	Redondo mayor Dorsal ancho	Trapecio	Sagital	Perlateral

5.2. Tecnología para la medición del ejercicio del salto

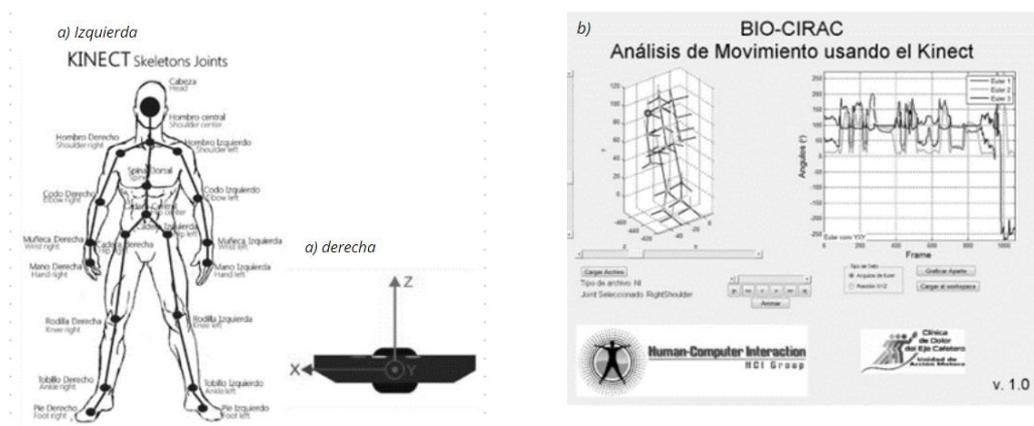
A lo largo de los avances científico-tecnológicos se han desarrollado diferentes tecnologías que permiten la medición del ejercicio del salto. En la Tabla 3 se presenta una descripción de los tipos de tecnologías para la medición del salto, entre las que se citan las plataformas de fuerza (Figura 3), sistemas para análisis de movimiento (Figura 4), dispositivos vestibles (Figura 5), sensores ópticos (Figura 6), alfombras de contacto (Figura 7) y sistemas con tecnología láser (Figura 8).

Figura 3. Plataforma de fuerza de bajo costo diseño con las cuatro células de carga (a) y sus respectivas dimensiones (mm) y geometría (b); (c) calibrador ensayado fijado en la parte superior de la plataforma de fuerza



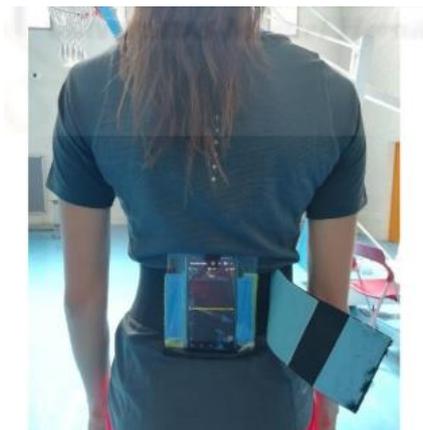
Tomado de: (Guimarães, Martins, & Vieira, 2017)

Figura 4. a) Izquierda: convención de Joints manejada por el archivo BVH capturado a través del sensor Kinect. Derecha: sistema coordinado del sensor Kinect, b) Interfaz para análisis de movimiento utilizando el sensor Kinect



Tomado de: (Henao, López, Muñoz, & Villalba, 2013)

Figura 5. *Acelerómetro de un teléfono móvil a la zona lumbar para la cuantificación de la carga en saltos*



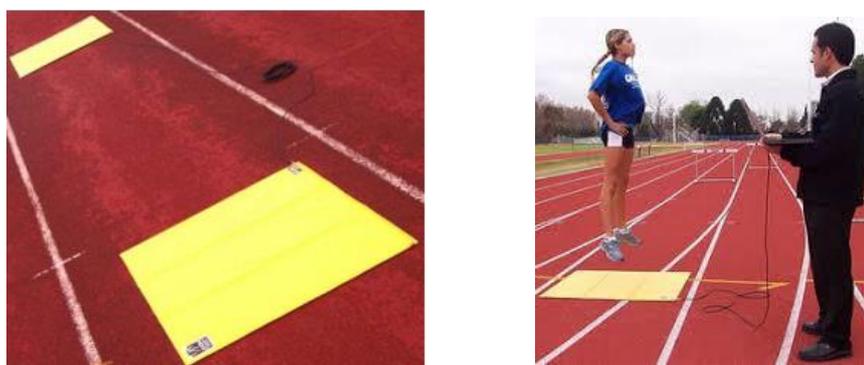
Tomado de: (Sempere, 2019)

Figura 6. *Dispositivo comercial OptoJump*



Tomado de: (Microgate.it, 2024)

Figura 7. *Axon Jump*



Tomado de: (Axon Jump, 2005)

Tabla 3. Tecnología para la medición del ejercicio del salto

Tecnología para la medición del ejercicio del salto							
Tecnología	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas	Precisión	Costo	Portabilidad	Aplicación en campo
Plataformas de Fuerza	<ul style="list-style-type: none"> Medición de la altura del salto vertical Análisis de la potencia y la capacidad explosiva Evaluación de la distribución de la fuerza y el equilibrio durante el despegue y aterrizaje 	<ul style="list-style-type: none"> Proporcionan datos precisos Permiten un análisis exhaustivo de los componentes de fuerza en varias direcciones Método de referencia para la medición de la altura del salto 	<ul style="list-style-type: none"> Requieren equipos sofisticados y costosos Instalación fija Se utilizan en laboratorios 	Alta	Alta	Baja	Laboratorio
Sistemas para análisis de movimiento	<ul style="list-style-type: none"> Análisis biomecánico del salto (cinemática y cinética del movimiento) Evaluación del rendimiento deportivo y prevención de lesiones Estudio de la técnica de salto y optimización de movimientos 	<ul style="list-style-type: none"> Ofrecen un análisis detallado del movimiento tridimensional. No limitan al sujeto a un área específica, permitiendo movimientos más naturales. Pueden integrarse con otras tecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> Requieren una configuración compleja y costosa. Necesitan software especializado y personal capacitado para su operación y análisis de datos. 	Alta	Muy Alta	Media	Laboratorio
Dispositivos vestibles	<ul style="list-style-type: none"> Medición de la altura del salto y el tiempo de vuelo. Análisis de la técnica de salto y el rendimiento. Monitoreo de la carga de entrenamiento y la fatiga 	<ul style="list-style-type: none"> Portátiles y pueden usarse en entornos interiores y exteriores Económicos y fáciles de usar. Permiten la recopilación de datos en tiempo real y durante actividades diarias 	<ul style="list-style-type: none"> Pueden ser menos precisos que las plataformas de fuerza y los sistemas de análisis de movimiento. Su colocación puede influir en la precisión de los datos. Requieren calibración y ajuste 	Media	Baja a Media	Alta	Campo y Laboratorio
Sistema de sensores ópticos preciso	<ul style="list-style-type: none"> Permite medir la altura, tiempo y potencia de un salto 	<ul style="list-style-type: none"> Sus mediciones involucran saltos, test de zancada, sprint, entre otros 	<ul style="list-style-type: none"> Se instala como una solución fija en laboratorios Limitación por la falta de portabilidad 	Muy Alta	Muy Alta	Baja	Laboratorio
Alfombra de contacto	<ul style="list-style-type: none"> Permite evaluaciones cinemáticas y entrenamientos pliométricos. 	<ul style="list-style-type: none"> La portabilidad representa su herramienta de versatilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema plegable sensible a manejos inadecuados 	Media	Media	Alta	Campo y Laboratorio
Sistema de medición láser	<ul style="list-style-type: none"> Utilizado en el entrenamiento de fuerza y el acondicionamiento físico 	<ul style="list-style-type: none"> La portabilidad y precisión 	<ul style="list-style-type: none"> Su alto costo 	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Campo y Laboratorio

Figura 8. *GymAware Powertool*



Tomado de: (GymAware, 2021)

5.3. Plataformas de fuerza

Las plataformas de fuerza son una herramienta clave para el análisis y optimización del rendimiento deportivo, especialmente en la técnica de salto (Iberian, 2024, p. 2). Una de las principales ventajas de utilizar estas plataformas es su capacidad para medir con gran precisión las fuerzas de reacción del suelo durante la ejecución de ejercicios como saltos, aterrizajes y sentadillas, esto permite cuantificar parámetros clave como la fuerza de empuje, la potencia desarrollada y la asimetría entre extremidades, los cuales son fundamentales para optimizar la técnica de movimiento (Iberian, 2024, p. 2).

Las plataformas de fuerza permiten realizar un análisis detallado del rendimiento del atleta porque recopilan datos como tiempos de vuelo y fuerzas de impacto que brinda información a los entrenadores y atletas para identificar las fortalezas, debilidades y desequilibrios, lo cual es importante para diseñar programas de entrenamiento y mejorar la técnica de salto (García J. , 2023).

Existen plataformas avanzadas, como ForceDecks que pueden detectar y analizar automáticamente más de 15 pruebas de fuerza comunes, lo que evita el proceso manual de análisis de datos, lo cual permite una evaluación del rendimiento eficiente y accesible, permitiendo a los entrenadores y atletas realizar evaluaciones frecuentes y objetivas.

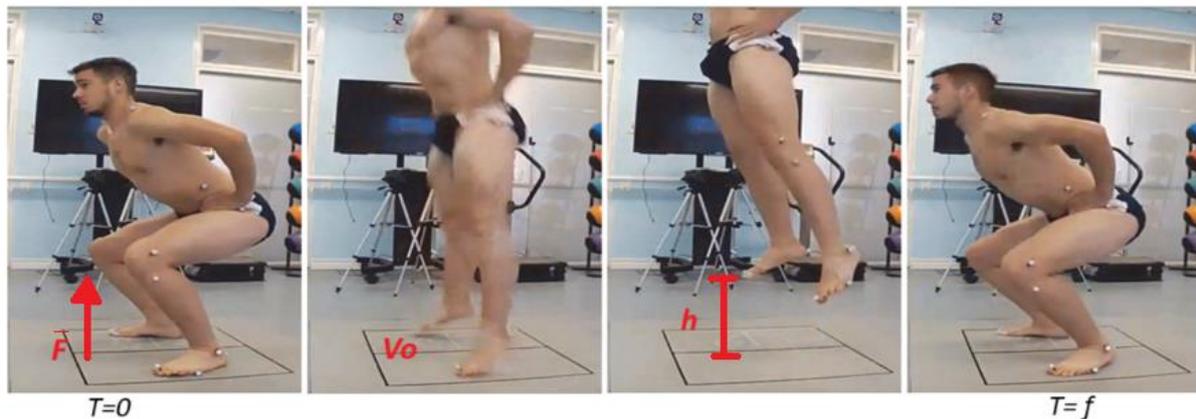
El uso de plataformas de fuerza facilita el monitoreo continuo del progreso del atleta a lo largo del tiempo, al permitir evaluaciones frecuentes y objetivas, estas herramientas posibilitan un

seguimiento detallado de la evolución del rendimiento, lo que a su vez facilita los ajustes necesarios en el entrenamiento para maximizar el desempeño del atleta (Oksnevad, 2023, pp. 1-3).

5.4. Parámetros para calcular el salto vertical

En la Figura 9 se presentan los parámetros que se miden para evaluar el salto vertical.

Figura 9. *Parámetros del salto vertical*



Tomado de: (García López, 2023).

5.4.1. *Altura del Salto*

Es la distancia desde el suelo hasta el punto más alto alcanzado durante el salto, se mide mediante:

- **Plataformas de Fuerza:** Miden la fuerza ejercida contra el suelo.
- **Dispositivos de Medición de Salto:** Como el Optojump, que consiste en dos barras con lectores led.
- **Tecnología de Video:** Usar cámaras y software para analizar el video del salto.

5.4.2. *Tiempo de Vuelo*

El tiempo que el atleta pasa en el aire y se mide mediante:

- **Plataformas de Fuerza:** Pueden calcular el tiempo de vuelo basado en la fuerza registrada.
- **Celdas Fotoeléctricas:** Dispositivos que miden el tiempo de interrupción de un haz de luz.

5.4.3. *Fuerza de Despegue*

La fuerza de despegue es la fuerza máxima ejercida contra el suelo durante el despegue se mide mediante:

- **Plataformas de Fuerza:** Registran la fuerza a lo largo del tiempo.
- **Acelerómetros:** Sensores que miden la aceleración durante el salto.

5.4.4. *Velocidad de Despegue*

La velocidad de despegue se mide mediante:

- **Plataformas de Fuerza y Análisis de Video:** Combinación para calcular la velocidad usando la derivada del desplazamiento y el tiempo.

5.4.5. *Tiempo de Contacto*

El tiempo que los pies están en contacto con el suelo antes del despegue, se mide mediante:

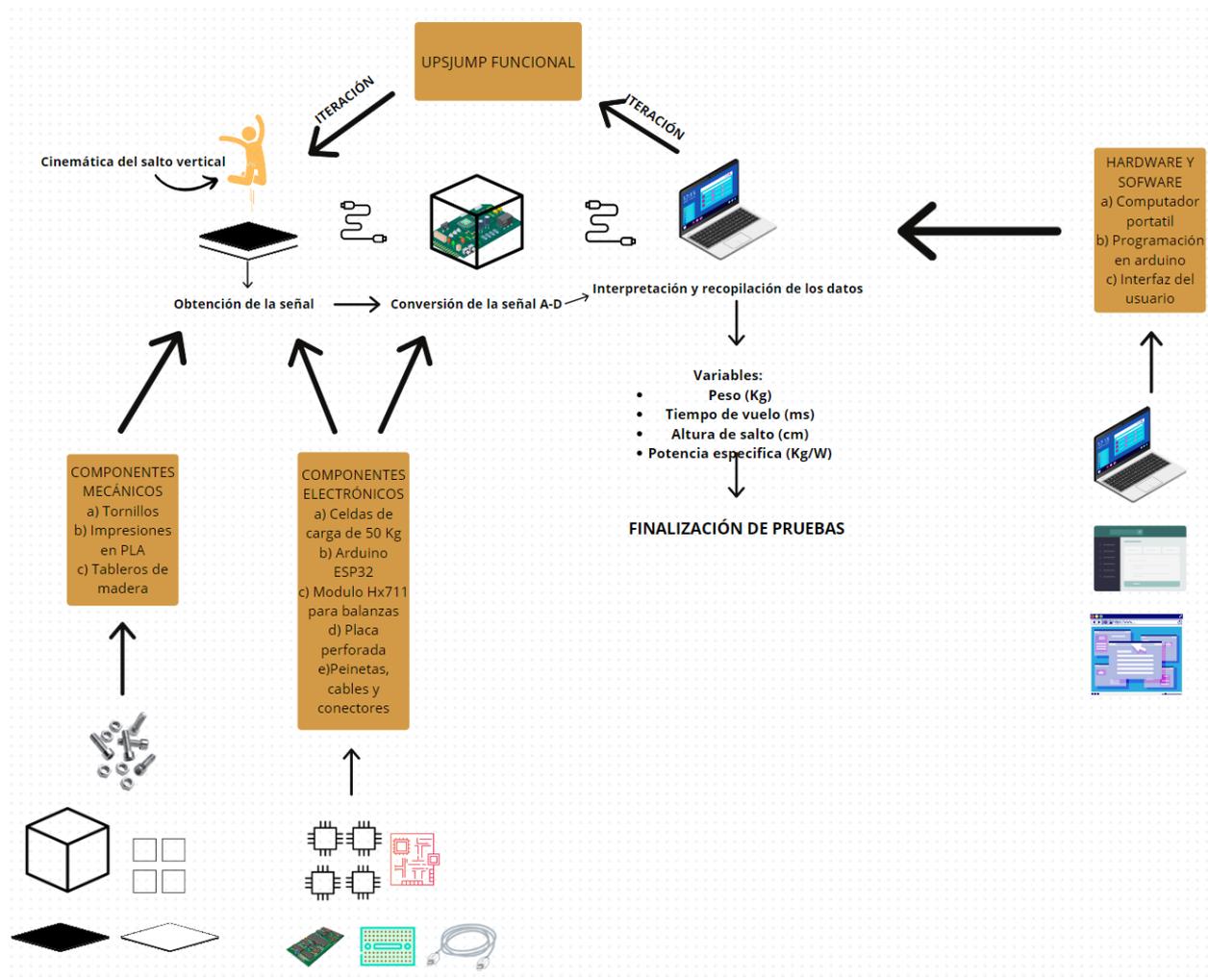
- **Plataformas de Fuerza:** Registran el tiempo exacto de contacto.
- **Alfombras de Contacto:** Sensores colocados en una alfombra para medir el tiempo de contacto.

6. DESARROLLO

6.1. Diseño del Prototipo del Dispositivo UPSJUMP

En esta sección se presenta la descripción del prototipo UPSJUMP, incluyendo detalles de la implementación, el uso de la interfaz y el protocolo para la evaluación y recolección de datos. En la Figura 10 se presenta el diagrama de bloques del diseño del UPSJUMP, en el que se puede visualizar la metodología empleada para la construcción del prototipo. Aquí se integra un desarrollo del componente mecánico, electrónico y de software.

Figura 10. Diagrama de bloques del sistema UPSJUMP



6.2. Estructura Mecánica

El UPSJUMP consta de una plataforma que está compuesta por dos tableros de madera aglomerada (base y superior) con medidas de 70 cm x 70 cm y un grosor de 3 cm cada uno. En la Figura 11 se muestran detalles de esta estructura.

Figura 11. Estructura del tablero del UPSJUMP



(a)

(b)



(c)

(d)

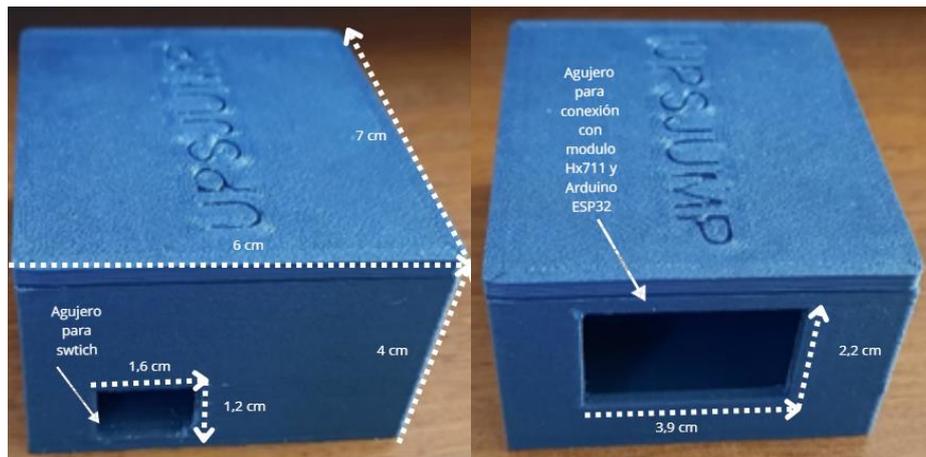
Nota: La figura muestra la estructura mecánica del dispositivo UPSJUMP (a) Área; (b) Conexión de las celdas de carga en el tablero base; (c) Tablero superior; (d) forro del tablero superior.

El tablero base contiene el circuito electrónico y aquí está realizado el montaje de cuatro celdas de carga y topes metálicos con base de caucho ubicados en los extremos, que nivelan el dispositivo en superficies irregulares como se muestra en las Figuras 11 (a) y (b). Para disminuir el impacto de los saltos, el tablero superior está forrado con caucho que se usa en tubos de

neumáticos y en su cara interna se colocó un recubrimiento con esponja y cuerina como se muestra en las Figuras 11 (c) y (d).

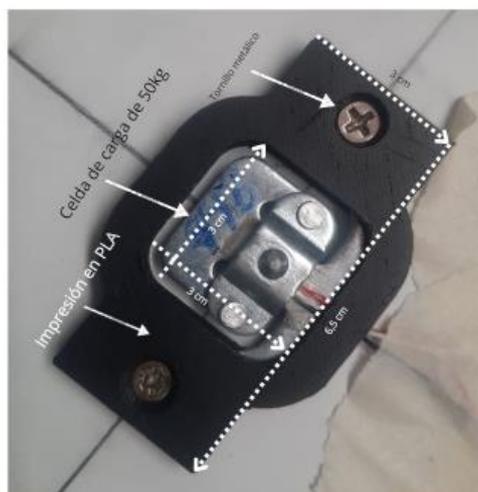
Para contener al circuito electrónico se construyó una caja impresa en PLA (ácido poliláctico), con dimensiones de 7 cm x 6 cm x 4 cm como se muestra en la Figura 12. Esta caja contiene dos agujeros laterales para el ingreso de las conexiones a la tarjeta y para el interruptor de encendido.

Figura 12. Caja impresa en PLA



Para la instalación de las celdas de carga se construyó e imprimió en PLA un molde que permita contener a la celda y ajustarla con tornillos al tablero del UPSJUMP como se muestra en la Figura 13. En el anexo 1 se encuentran detalles del diseño del molde.

Figura 13. Celda de carga



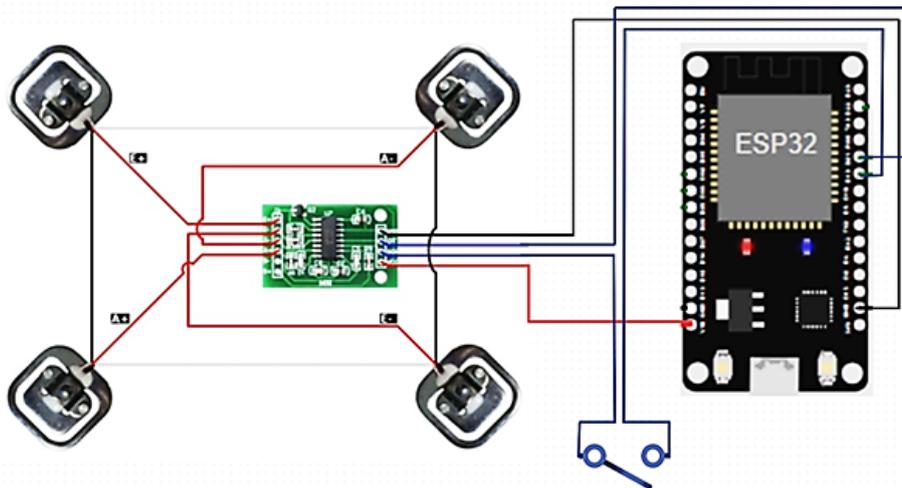
Con las celdas de carga se formó un arreglo de forma cuadrada y durante la instalación se dejó una distancia de 49 cm entre celdas. De esta manera, el área óptima de censado siempre estará en la parte central del arreglo que es en donde se debe realizar el salto para el registro de fuerza.

6.3. Circuito Electrónico

El prototipo del sistema UPSJUMP cuenta con cuatro celdas de carga de 50 Kg (como se muestra en la Figura 11), que se colocan en el tablero base en una conexión de Puente de Wheatstone que permite leer las variaciones de resistencia en las celdas.

El circuito para la adquisición y procesamiento de las señales de las celdas de carga incluye un Arduino ESP32, un módulo driver para celdas de carga Hx711 y un interruptor para encendido del circuito como se muestra en la Figura 14.

Figura 14. *Circuito electrónico*

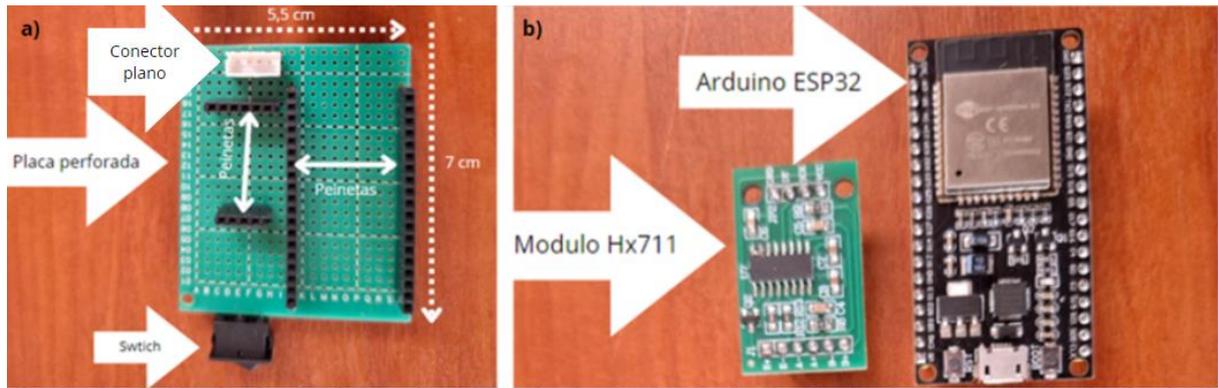


Tomado de: (Instructables, 2020)

El módulo HX711 cuenta con conversor ADC de 24 bits para leer la señal del puente de Wheatstone formado por las celdas y se comunica con el Arduino por un protocolo serial mediante 2 pines, el de datos (DT) y señal de reloj (CLK) conectados a los pines 4 y 5 del Arduino respectivamente.

Todo el circuito se montó en una placa como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. a) Placa con conector, peinetas y swtich, b) Módulo Hx711 y Arduino ESP32



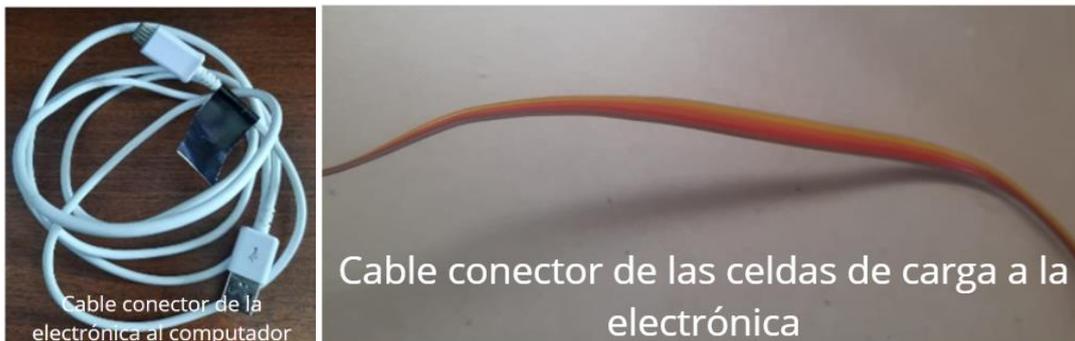
Para mejorar la velocidad de adquisición del módulo de balanzas Hx711 se realizó una modificación desconectando el pin 15 que es la entrada de control de velocidad de datos de salida y soldándolo al pin 16 (potencia digital) como se muestra en la Figura 16. Esto permitió modificar el muestreo de datos de 10 a 80 cps. Es importante mencionar que en este procedimiento se puede averiar todo el módulo HX711 por la conexión a GND de ambos pines del chip HX711, razón por la cual esta modificación debe realizarse con cuidado.

Figura 16. Modificación en el módulo Hx711



Se utilizó un cable plano Js+4p para conectar las celdas al circuito y para la conexión con la portátil se emplea un cable de carga de celular ECB-DUEWE.

Figura 17. Cables conectores



El sistema incluye un computador portátil con procesador Intel Core i7 en el que debe estar instalado el programa de Arduino.

Para el manejo del HX711 con el Arduino se empleó la librería HX711.h que proporciona funciones para interactuar con este módulo.

La configuración inicial para la comunicación serial se realiza habilitando un modo de depuración con `DEBUG_HX711`.

Para la configuración de este módulo es necesario aplicar una calibración mediante la función `bascula.set_scale` con un factor que se define a partir de una relación entre el valor de lectura del HX711 y el peso conocido, con la ecuación (1):

$$ESCALA = VL_{HX711} / PR \quad (1)$$

Donde ESCALA es el factor para la calibración, VL HA711 es el valor de lectura el que entrega el módulo y PR es el peso real.

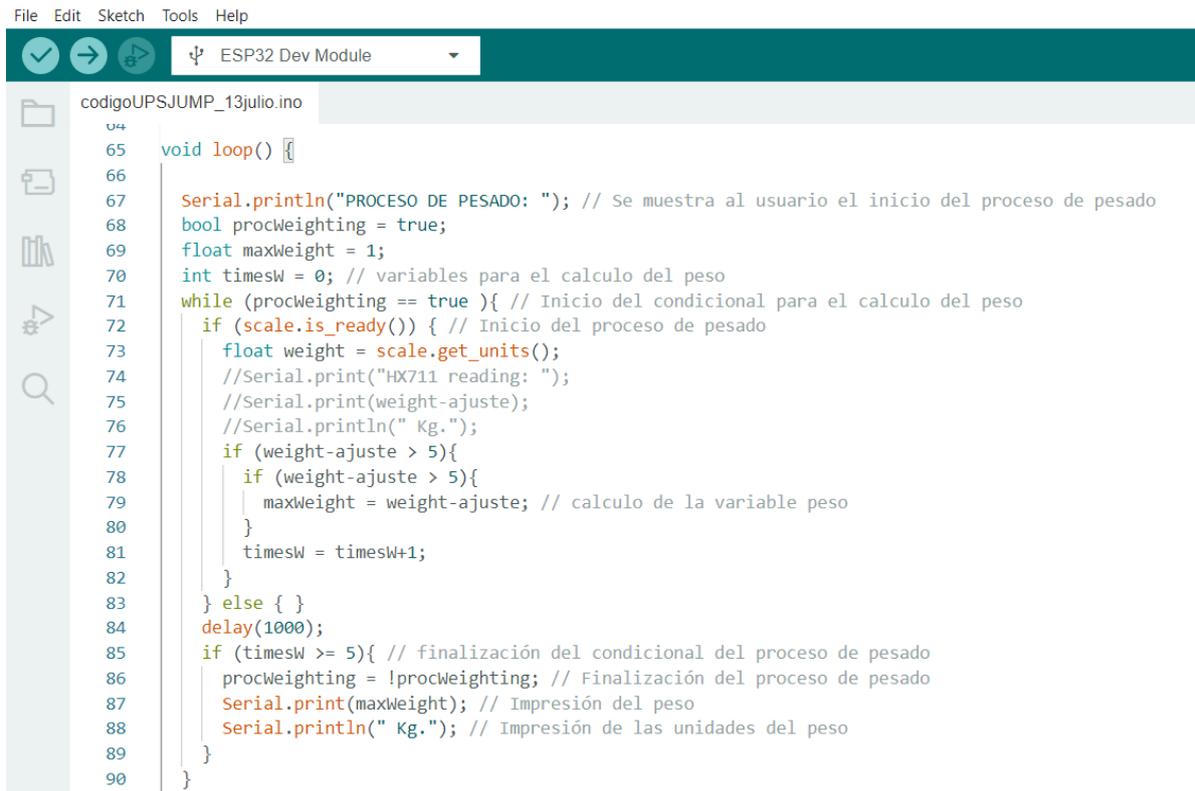
Para este proyecto, se posicionó sobre la plataforma un peso conocido de 1083 g y el valor leído por el módulo HX711 fue 23467527 entonces el factor de calibración o la escala obtenido fue:

$$ESCALA = 23467527 / 1083 = 21669$$

A partir del procesamiento de la señal del módulo HX711, el UPSJUMP mide el peso en Kg sobre la plataforma, que es un parámetro que se visualizará en la interfaz de usuario.

En la Figura 18 se muestra el código implementado para la medición de peso.

Figura 18. Rutina para la medición de peso



```
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
codigoUPSJUMP_13julio.ino
64
65 void loop() {
66
67   Serial.println("PROCESO DE PESADO: "); // Se muestra al usuario el inicio del proceso de pesado
68   bool procWeighting = true;
69   float maxWeight = 1;
70   int timesW = 0; // variables para el calculo del peso
71   while (procWeighting == true) { // Inicio del condicional para el calculo del peso
72     if (scale.is_ready()) { // Inicio del proceso de pesado
73       float weight = scale.get_units();
74       //Serial.print("HX711 reading: ");
75       //Serial.print(weight-ajuste);
76       //Serial.println(" Kg.");
77       if (weight-ajuste > 5){
78         if (weight-ajuste > 5){
79           maxWeight = weight-ajuste; // calculo de la variable peso
80         }
81         timesW = timesW+1;
82       }
83     } else { }
84     delay(1000);
85     if (timesW >= 5){ // finalización del condicional del proceso de pesado
86       procWeighting = !procWeighting; // Finalización del proceso de pesado
87       Serial.print(maxWeight); // Impresión del peso
88       Serial.println(" Kg."); // Impresión de las unidades del peso
89     }
90   }
```

Para la medición del tiempo de vuelo, se detecta el tiempo de inicio y finalización del salto y se aplica la ecuación (2):

$$\text{Tiempo de vuelo} = (\text{EndTime} - \text{StartTime}) \text{ (ms)} \quad (2)$$

En donde EndTime es el tiempo en el que se identificó el final del salto y StartTime el tiempo en el que inició el salto. Aquí, el registro de los tiempos está basado en la detección o no detección de peso sobre la plataforma de UPSJUMP.

En la Figura 19 se muestra el código para el cálculo del tiempo de vuelo.

Figura 19. Rutina para la medición del tiempo de vuelo

```

File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
codigoUPSJUMP_13julio.ino
91
92 Serial.println("PROCESO DE SALTO: "); // Se muestra al usuario el inicio del proceso de salto
93 bool procJumping = true;
94 bool jump = false;
95 unsigned long StartTime = 0;
96 unsigned long EndTime = 0;
97 double timeJump = 0;
98 float pesoArriv = 0; // variables para el calculo del tiempo de vuelo
99 while (procJumping == true ){ // condicional para el proceso de salto
100     if (scale.is_ready()) { // inicio del calculo del tiempo de vuelo
101         float weight = scale.get_units();
102         if (weight-ajuste < 10 && jump == false){ // condicional en apagado para el calculo del tiempo de vuelo
103             StartTime = millis(); // unidad inicial del tiempo de vuelo
104             jump = true; // inicio del contador para el proceso de salto
105         }
106         if (weight-ajuste > 10 && jump == true){ // condicional en encendido para el calculo del tiempo de vuelo
107             EndTime = millis(); // unidad final del tiempo de vuelo
108             procJumping = false; // finalización del proceso de salto
109             float pesoArriv = weight-ajuste;
110         }
111         if(weight-ajuste>pesoArriv){
112             pesoArriv=weight-ajuste;
113         }
114     }
115 }
116 timeJump = EndTime-StartTime; // formula para el calculo del tiempo de vuelo
117 Serial.print(timeJump); // impresión del tiempo de vuelo
118 Serial.println(" ms."); // impresión de las unidades del tiempo de vuelo
119 Serial.println(pesoArriv); // impresión del peso obtenido
120 Serial.println(" Kg."); // impresión de las unidades del peso obtenido

```

Con los valores del tiempo de vuelo se calcula el valor de la potencia P con la siguiente ecuación (3):

$$P = g^2 tv \frac{tv+tc}{4tc} (W/kg) \quad (3)$$

En donde g es la gravedad 9,81m/s; tv el tiempo de vuelo y tc el tiempo de contacto. En la Figura 20 se presenta la rutina en la que se calcula la potencia.

Figura 20. Rutina para el cálculo de la potencia

```

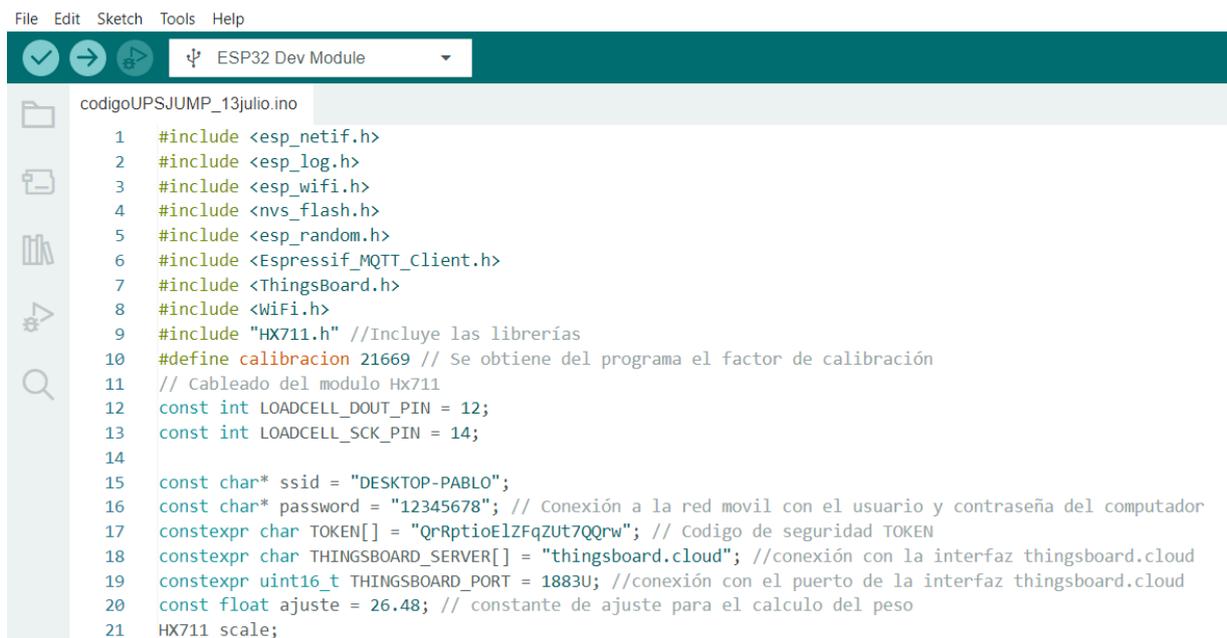
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
codigoUPSJUMP_13julio.ino
120 }
121 }
122 //ALMACENAMIENTO DEL PESO FINAL Y EL TIMEPO DE SALTO
123 timeJump = EndTime-StartTime; // formula para el calculo del tiempo de vuelo
124 Serial.print(timeJump); // impresión del tiempo de vuelo
125 Serial.println(" ms."); // impresión de las unidades del tiempo de vuelo
126 Serial.println(pesoArriv); // impresión del peso obtenido
127 Serial.println(" Kg."); // impresión de las unidades del peso obtenido
128
129 if (!tb.connected()) {
130     tb.connect(THINGSBOARD_SERVER, TOKEN, THINGSBOARD_PORT); // Conexión entre el servidor, el puerto y el token de la pagina thingsboard
131 }
132
133 float peso = maxWeight; // Variable del peso
134 float tiempo = timeJump; // Variable del tiempo de vuelo
135 float potencia = (9.81*9.81)*(timeJump/1000)*(((timeJump/1000)+10)/(4*10)); // Ecuación de la Potencia especifica, en el tiempo de vuelo (timeJump) se hace la conversión de milis
136 String jsonData = "{\"peso\": " + String(peso,2) + ", \"tiempo\": " + String(tiempo,2) + ", \"potencia\": " + String(potencia,2) + "}"; // Trama json con las variables
137 //ESP_LOGI("jsonData", "... %s", jsonData.c_str());
138
139 tb.sendTelemetryJson(jsonData.c_str()); // se envia la trama json con las variables peso, tiempo de vuelo y potencia
140 tb.loop();
141 //vTaskDelay(60000 / portTICK_PERIOD_MS);

```

Desde el Arduino se envían los datos de los parámetros del salto medidos a una interfaz de usuario desarrollada en la plataforma Thingsboard.cloud.

En la Figura 21 se muestra la configuración inicial del programa para la conexión de la programación de Arduino con la interfaz Thingsboard.cloud en la línea número 18 del código de arduino con THINGSBOARD_SERVER.

Figura 21. Rutina para la configuración del programa y conexión con Thingsboard

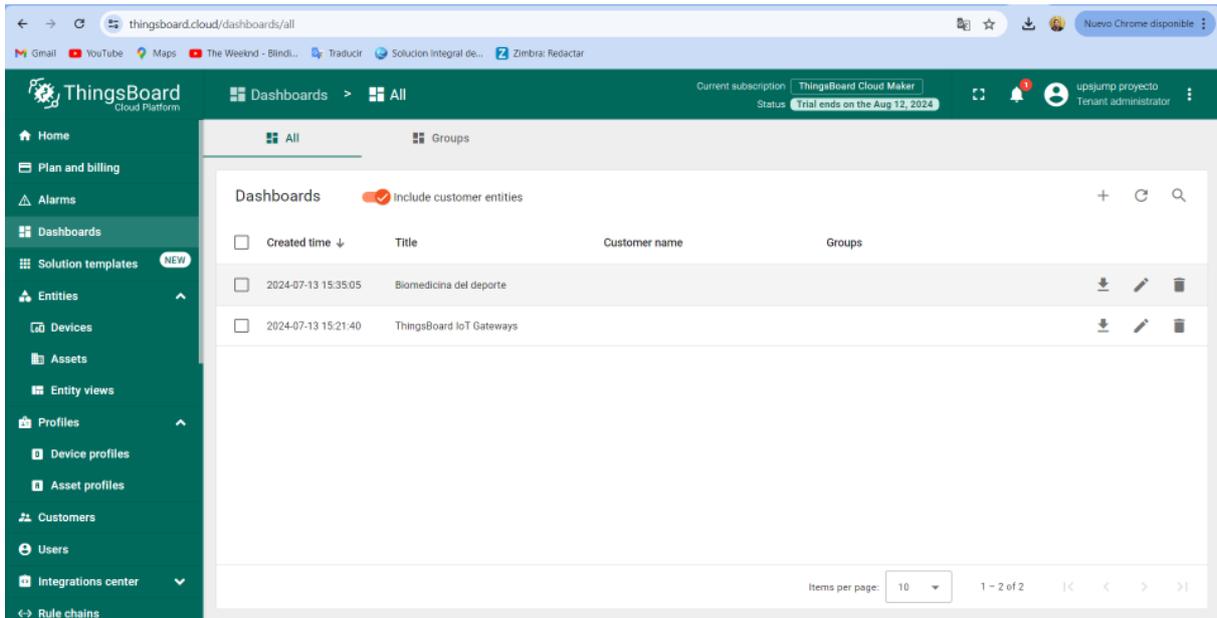


```
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
codigoUPSJUMP_13julio.ino
1 #include <esp_netif.h>
2 #include <esp_log.h>
3 #include <esp_wifi.h>
4 #include <nvs_flash.h>
5 #include <esp_random.h>
6 #include <Espressif_MQTT_Client.h>
7 #include <ThingsBoard.h>
8 #include <WiFi.h>
9 #include "HX711.h" //Incluye las librerías
10 #define calibracion 21669 // Se obtiene del programa el factor de calibración
11 // Cableado del modulo Hx711
12 const int LOADCELL_DOUT_PIN = 12;
13 const int LOADCELL_SCK_PIN = 14;
14
15 const char* ssid = "DESKTOP-PABLO";
16 const char* password = "12345678"; // Conexión a la red movil con el usuario y contraseña del computador
17 constexpr char TOKEN[] = "QrRptioElZFqZut7QQrw"; //Codigo de seguridad TOKEN
18 constexpr char THINGSBOARD_SERVER[] = "thingsboard.cloud"; //conexión con la interfaz thingsboard.cloud
19 constexpr uint16_t THINGSBOARD_PORT = 1883U; //conexión con el puerto de la interfaz thingsboard.cloud
20 const float ajuste = 26.48; // constante de ajuste para el calculo del peso
21 HX711 scale;
```

6.4. Interfaz del usuario

Para el funcionamiento de interfaz de usuario en la plataforma Thingsboard.cloud se debe contar con conexión a internet. En este caso se ingresa al navegador Google Chrome y generando una cuenta en Google se puede ingresar con los datos de usuario y contraseña. En la Figura 22 se muestra la interfaz de la plataforma como Dashboards-Biomedicina del deporte.

Figura 22. Interfaz de la plataforma Thingsboard



En la Figura 23 se muestra la interfaz en la que se pueden visualizar los parámetros adquiridos por el UPSJUMP que son: peso (kg), tiempo de vuelo (ms) y potencia específica (W/kg), con el registro de las fechas en las que se realizó la medición.

Figura 23. Interfaz del usuario

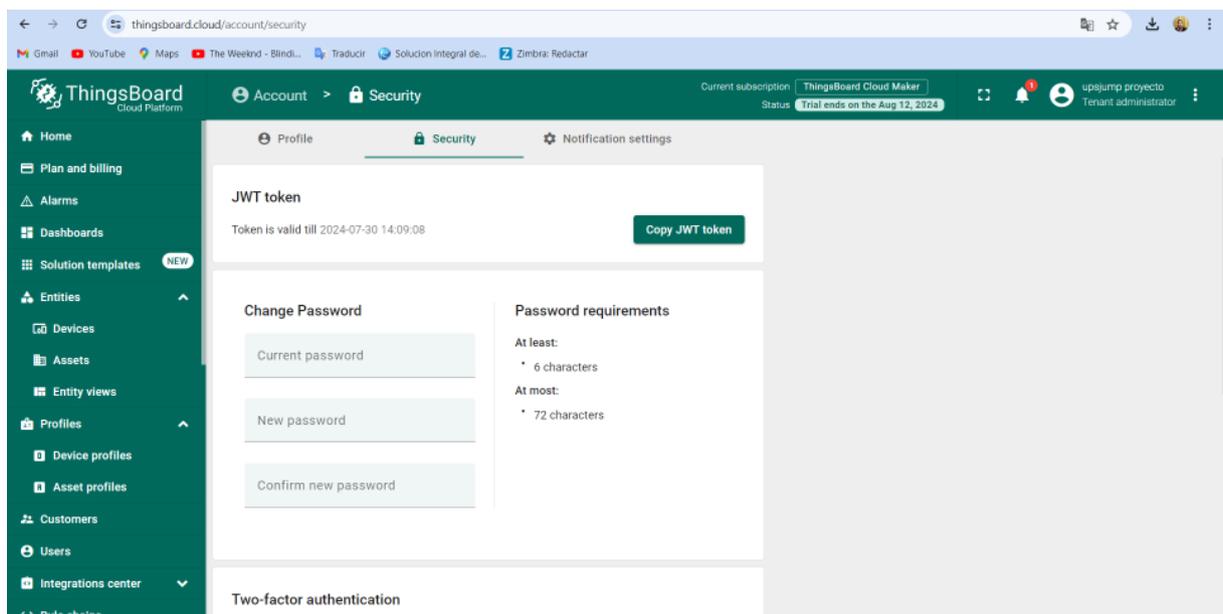
The screenshot shows the 'Timeseries table' interface in Thingsboard. The table displays real-time data for the last 30 days. The columns are 'Timestamp', 'peso (Kg)', 'potencia (W/Kg)', and 'tiempo (ms)'. The data is as follows:

Timestamp	peso (Kg)	potencia (W/Kg)	tiempo (ms)
2024-07-25 00:14:00	94.29	9.39	376.00
2024-07-21 13:20:57	32.17	49686.26	341645.00
2024-07-21 13:15:09	29.60	6.01	242.00
2024-07-21 13:13:56	93.43	10.59	423.00
2024-07-21 13:10:03	93.40	11.54	460.00
2024-07-21 13:03:50	93.43	55.06	448.00
2024-07-21 12:58:06	93.54	27.33	435.00
2024-07-21 12:54:04	93.68	22.78	435.00
2024-07-21 12:48:56	93.87	22.16	424.00
2024-07-21 12:39:39	93.57	24.00	448.00

The interface also shows a 'Items per page' dropdown set to 10 and a pagination indicator '1 - 10 of 125'.

Para emplear la plataforma de Thingsboard se debe contar con un código de seguridad (TOKEN) al cual se puede acceder en la opción de seguridad (Security) como se muestra en la Figura 24. Aquí se genera un JWT token que registra también la fecha de caducidad del TOKEN.

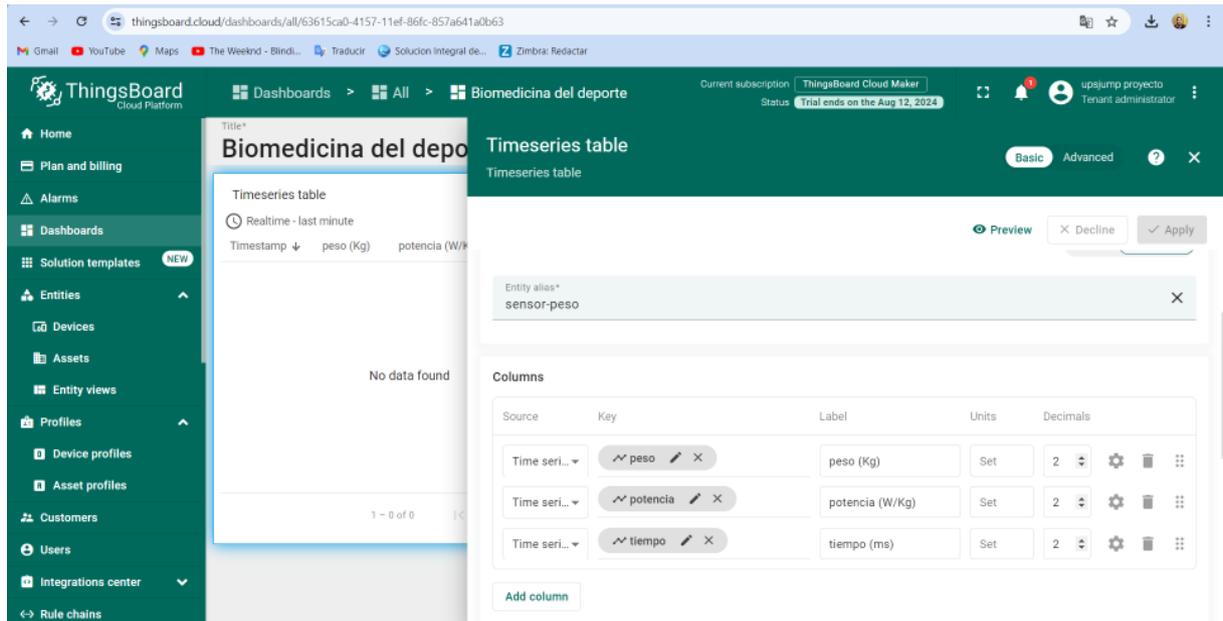
Figura 24. Código de seguridad token



Este código debe ser incluido en la programación de Arduino como se indica en la Figura 21 (línea 17) y debe ser actualizado cada mes para el correcto funcionamiento de la interfaz con el dispositivo.

En la interfaz se pueden cambiar los parámetros de nombre, unidades, entre otras características en la página principal con la opción de cuadro de mando (Dashboards), editar modo (edit mode) en la tabla de series temporales (timeseries table) y editar widgets (edit widgets). En la Figura 25 se muestra la captura de pantalla con la interfaz para editar los parámetros.

Figura 25. Edición de parámetros en interfaz Thingsboard



6.5. Calibración

El prototipo construido fue evaluado de manera preliminar con pesos conocidos aplicados en el área efectiva (parte central del tablero) del UPSJUMP (UJ).

En las pruebas se evidenció lo siguiente:

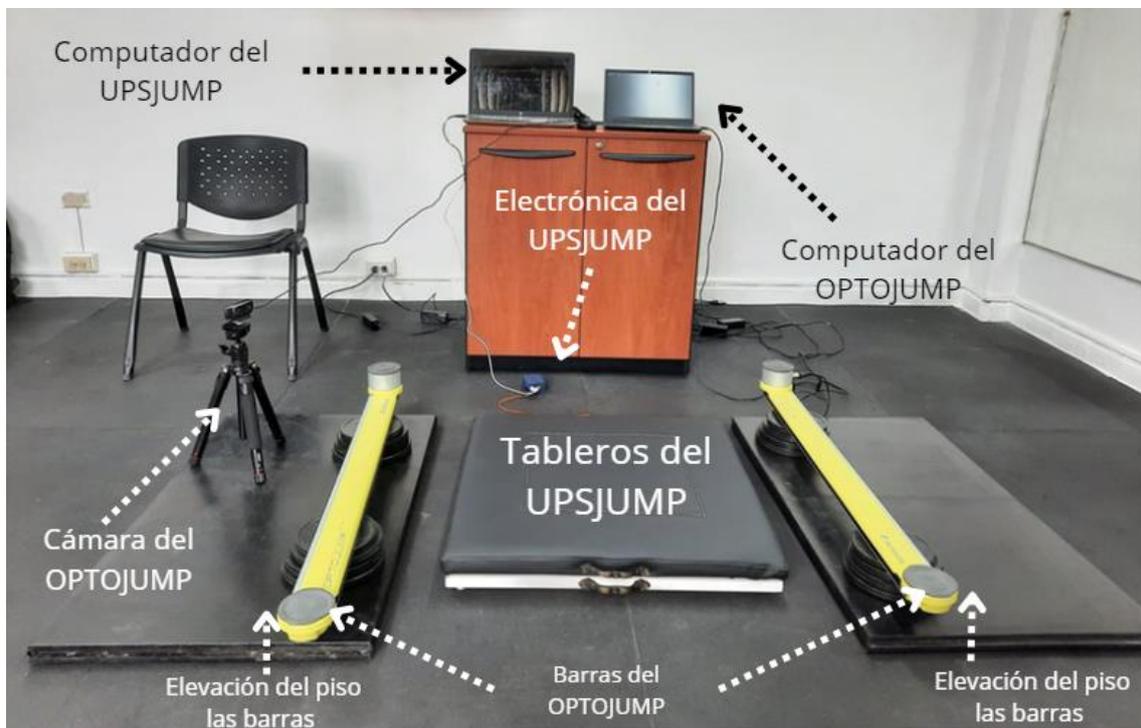
- El equipo registra el peso sobre los tableros en un tiempo mínimo de 5 s y máximo de 10 s para. Después de este registro del peso se puede realizar inmediatamente la evaluación del salto vertical.
- Para cada iteración de los saltos, se debe tener un tiempo mínimo de contacto en los tableros del UJ de 8 s. Este dato se consideró para el diseño del protocolo de evaluación del sistema con sujetos y comparación de las mediciones con el OptoJump como instrumento patrón, definiendo un tiempo entre saltos (tiempo de contacto) de 10 s para disminuir el error durante el registro de las mediciones.

6.6. Protocolo para la captura de señales y comparación entre el prototipo UPSJUMP (UJ) y el dispositivo OPTOJUMP (OJ)

Con el objetivo de comparar los valores adquiridos por el UJ se propuso un protocolo de pruebas utilizando el UJ y el sistema OJ como dispositivo patrón. Para realizar las pruebas se colocaron los dos dispositivos juntos como se muestra en la Figura 24 conectados y verificando que funcionaran correctamente.

Las dos barras ópticas del OJ se encuentran elevadas 12 centímetros del piso para no detectar los tableros del UJ. La distancia entre las barras del OJ debe ser de 1,2 m.

Figura 26. Arreglo de los dispositivos UPSJUMP (UJ) - OPTOJUMP (OJ)



Nota: Se debe contar con al menos una persona que realice las pruebas y otra persona que brinde las indicaciones y maneje los equipos.

6.7. Protocolo para la evaluación del prototipo UJ

Con el objetivo de evaluar el prototipo del UJ, se diseñó el siguiente protocolo:

Paso 1: Encendido del UJ (Tiempo estimado: 10 min)

1. Encender el UJ conectando el tablero con la celda al circuito electrónico y al computador portátil.
2. Encender el computador y abrir el programa de Arduino con el monitor serial, verificando su correcto funcionamiento.
3. Reiniciar el Arduino con el botón RST. En el monitor serial aparecerá el mensaje "PROCESO DE PESADO".
4. En el circuito electrónico, activar el interruptor para finalizar el encendido del UJ.

Paso 2: Encendido del OJ (Tiempo estimado: 20 min)

1. Encender el OJ e ingresar al programa Optojump Next en el computador portátil del sistema.
2. Conectar la cámara USB en el lado izquierdo y una de las barras en el lado derecho. Verificar si el equipo está cargado o conectarlo a la red eléctrica.
3. Asegurarse de que los cables estén conectados en la entrada correcta y alimentados.
4. Ingresar los datos del participante en la plantilla (nombre, fecha de nacimiento, estatura, peso, deporte que realiza, entre otros).
5. Seleccionar el tipo de prueba a realizar: en este caso, se utilizó la opción de *saltos en 60 segundos* para poder realizar el contraste.

Paso 3: Explicación al participante (Tiempo estimado: 10 min)

El evaluador explica con evidencia escrita (consentimiento informado en el anexo 2) a la(s) persona(s) que va(n) a realizar las pruebas cuál es el método para ejecutar y para qué se utilizarán estos datos. Debe existir una respuesta positiva del evaluado para continuar con la evaluación.

Paso 4: Pesaje del participante (Tiempo estimado: 5 min)

El evaluador invita al evaluado a pesarse en la balanza de control y luego en el prototipo UJ.

Paso 5: Desarrollo de las pruebas de salto (Tiempo estimado: 16 min)

1. La persona debe ubicarse frente al UJ.
2. El UJ debe estar encendido y funcional.
3. El OJ debe estar encendido y en modo saltos en 60 segundos.
4. Al aviso sonoro del equipo OJ, la persona sube al UJ y se enciende un temporizador online (en la portátil del UJ). La persona realiza un salto cada 10 segundos durante los 60 segundos de la programación del OJ.
5. La prueba finaliza cuando el OJ lo indica.
6. Esta prueba se repite por 5 sets para cada participante.

Al finalizar este protocolo se cuenta con las bases de datos para ambos dispositivos, lo que permitirá comparar y establecer criterios técnicos sobre el UJ.

Los tiempos de cada fase pueden variar de acuerdo con las condiciones personales, instrumentales y ambientales en el momento de las mediciones.

Se evalúa al operador con el cuestionario SUS (Anexo 3).

Para obtener un parámetro para evaluar el salto se empleó la siguiente fórmula que permite calcular la altura de salto con el valor del tiempo de vuelo. lo realizamos mediante la aplicación de la ecuación (4):

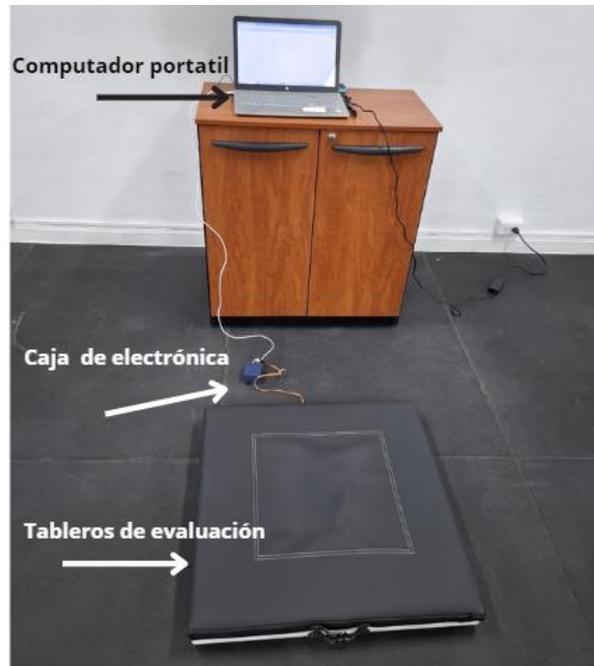
$$\text{Altura de salto} = (tv^2 g)/8 \quad (4)$$

En donde tv es el tiempo de vuelo en s y g la gravedad.

7. RESULTADOS

En la Figura 25 se muestran los componentes del prototipo para la medición de parámetros de salto UPSJUMP.

Figura 27. *Dispositivo UPSJUMP*



En el Anexo 4 se encuentra el manual del UPSJUMP.

7.1. Evaluación del UPSJUMP

Para la evaluación del prototipo se ejecutó el protocolo descrito en la sección 6.7 de la metodología en dos fases. La primera para evaluar el prototipo y definir parámetros para calibración y la segunda para evaluar el UJ calibrado.

En la primera fase para evaluar el UJ, el grupo de muestra estuvo compuesto por 30 participantes. Las evaluaciones de una persona se descartaron por errores técnicos

Se trabajó durante 15 días (de lunes a viernes durante 3 semanas consecutivas), evaluando un promedio de 2 sujetos/día (1 sujeto/hora), que fueron citados al Laboratorio de Esfuerzo Físico de la UPS en la misma franja horaria (entre las 15:00 a 17:00 h).

El grupo final quedó compuesto por veinte hombres ($23,55 \pm 3,15$ años; $170,25 \pm 5,15$ cm; $73,33 \pm 16,82$ kg) y nueve mujeres ($24 \pm 6,16$ años; $157 \pm 5,81$ cm; $63,53 \pm 13,13$ kg). Todas

las personas evaluadas contaban con un buen estado de salud para realizar saltos verticales de acuerdo con sus posibilidades físicas. Se les informó de los objetivos del estudio y firmaron su consentimiento de forma escrita (García-López, J.; Rodríguez-Marroyo, J. A.; Pernía, R.; Ávila, M. C.; Villa, J. G., 2008).

Todos los participantes recibieron las indicaciones previas para ejecutar saltos verticales de forma correcta. La técnica de ejecución de los saltos verticales fue con el salto con sentadilla (SJ), utilizando una media flexión de rodillas con brazos libres, como se indica en estudios anteriores (García-López et al., 2003 y 2005).

Durante el calentamiento y antes de las pruebas definitivas, los participantes realizaron ensayos de prueba en el arreglo de los dispositivos UJ-OJ que se presentó en la Figura 24. Los saltos se realizaron a una sola evaluación (un día de valoración).

Para el registro de los datos, el análisis gráfico y el análisis estadístico se utilizó el software Microsoft Excel-2016.

A continuación, se muestran en la Figura 28 las pruebas de salto realizadas por los participantes en la comparación de los dispositivos UJ-OJ.

Figura 28. *Pruebas de salto*



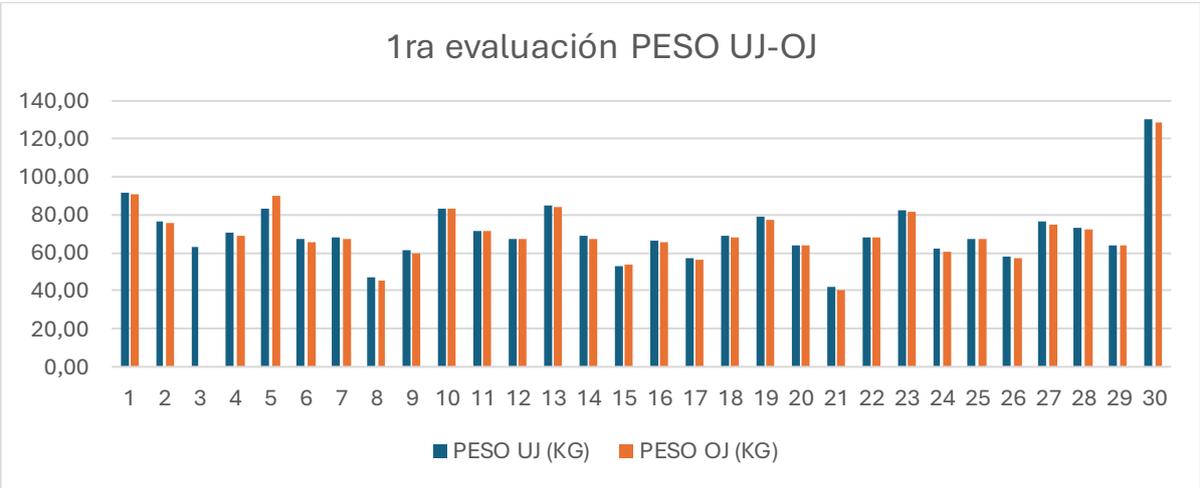
En la Tabla 4 se muestran los datos de peso (Kg), tiempo de vuelo (s), altura de salto (cm) y potencia (W/kg) obtenidos en el marco de esta evaluación que ofrece información sobre el rendimiento físico de los diferentes participantes.

Tabla 4. *Tabla de resultados de la primera evaluación*

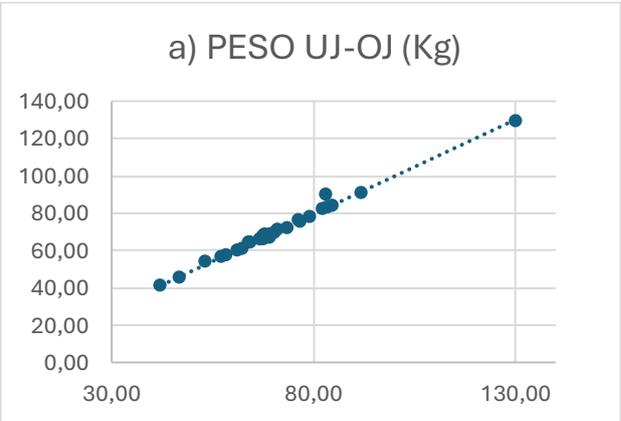
CÓDIGO- PARTICIPANTE	PESO U (Kg)	PESO O (Kg)	TIEMPO DE VUELO U (s)	TIEMPO DE VUELO O (s)	ALTURA- SALTO U (cm)	ALTURA- SALTO O (cm)	POTENCIA U (W/Kg)	POTENCIA O (W/Kg)
1	91,80	91,00	0,464	0,432	26,48	22,96	11,69	10,86
2	76,45	76,00	0,441	0,394	23,98	19,32	10,21	9,86
4	70,31	69,00	0,341	0,289	14,30	10,25	8,43	7,14
5	83,03	90,00	0,317	0,306	13,42	11,50	7,85	7,58
6	67,41	66,00	0,467	0,428	26,71	22,48	11,58	10,75
7	68,38	67,00	0,525	0,488	33,85	29,29	13,10	12,32
8	46,86	45,60	0,386	0,357	22,85	19,57	9,50	8,97
9	61,03	60,00	0,529	0,496	34,33	30,19	13,17	12,53
10	83,56	83,00	0,465	0,425	26,57	22,20	11,62	10,66
11	71,34	71,20	0,351	0,313	18,89	15,02	8,74	7,82
12	67,59	67,20	0,435	0,414	29,19	26,35	10,93	10,47
13	84,67	84,00	0,486	0,450	29,02	24,83	12,17	11,31
14	69,13	67,00	0,443	0,404	24,08	20,02	10,98	10,12
15	53,41	54,00	0,543	0,505	36,23	31,35	13,52	12,76
16	66,86	66,00	0,377	0,327	17,52	13,17	9,28	8,12
17	57,08	56,00	0,354	0,308	15,44	11,70	8,66	7,63
18	69,28	68,00	0,339	0,290	14,12	10,34	8,32	7,18
19	79,26	77,60	0,539	0,505	35,68	31,24	13,53	12,76
20	63,98	64,00	0,416	0,359	21,25	15,78	10,26	8,94
21	42,23	40,80	0,331	0,281	16,81	12,17	8,09	7,01
22	67,81	68,00	0,563	0,535	38,90	35,10	14,10	13,56
23	82,47	82,00	0,495	0,462	30,10	26,16	12,40	11,63
24	62,49	61,00	0,405	0,356	20,22	15,62	9,99	8,87
25	67,51	67,00	0,519	0,481	33,06	28,38	12,95	12,14
26	58,27	57,00	0,338	0,264	13,99	8,57	8,26	6,52
27	76,60	75,00	0,484	0,446	28,83	24,46	12,09	11,21
28	73,46	72,00	0,466	0,428	26,61	22,52	11,59	10,75
29	64,26	64,00	0,287	0,207	10,16	5,32	6,98	5,09
30	130,23	129,00	0,395	0,341	19,14	14,27	9,98	8,48

Con base a estos resultados, la Figura 29 (a) muestra la relación del peso corporal registrado con la báscula de control del Laboratorio de Esfuerzo y el prototipo UJ. En este caso existe una correlación de 0,828 que indica una relación positiva fuerte entre las dos variables, porque a medida que el peso aumenta la dispersión de datos no varía significativamente, presentando pesos mayores el UJ en el 90% de las muestras y con un 3% de error de la media de los pesos con relación al control (OJ). En la Figura 29 (b) se muestra la relación del peso corporal entre la báscula de control (báscula digital) y el prototipo UJ y en la Figura 29 (c) se puede evidenciar la concordancia en la toma de medidas de ambos equipos.

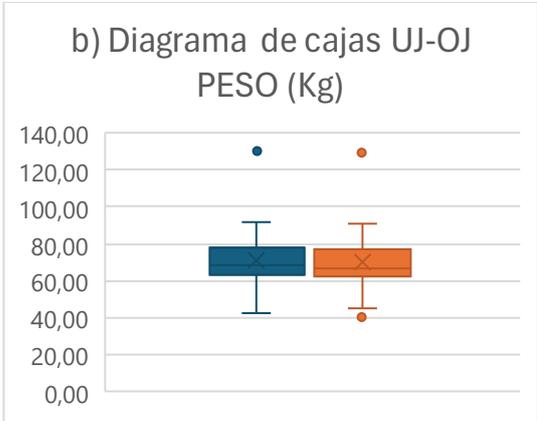
Figura 29. (a) resultados del registro de peso con los equipos UJ y OJ (Kg); (b) Dispersión de datos; (c) Diagrama de cajas



(a)



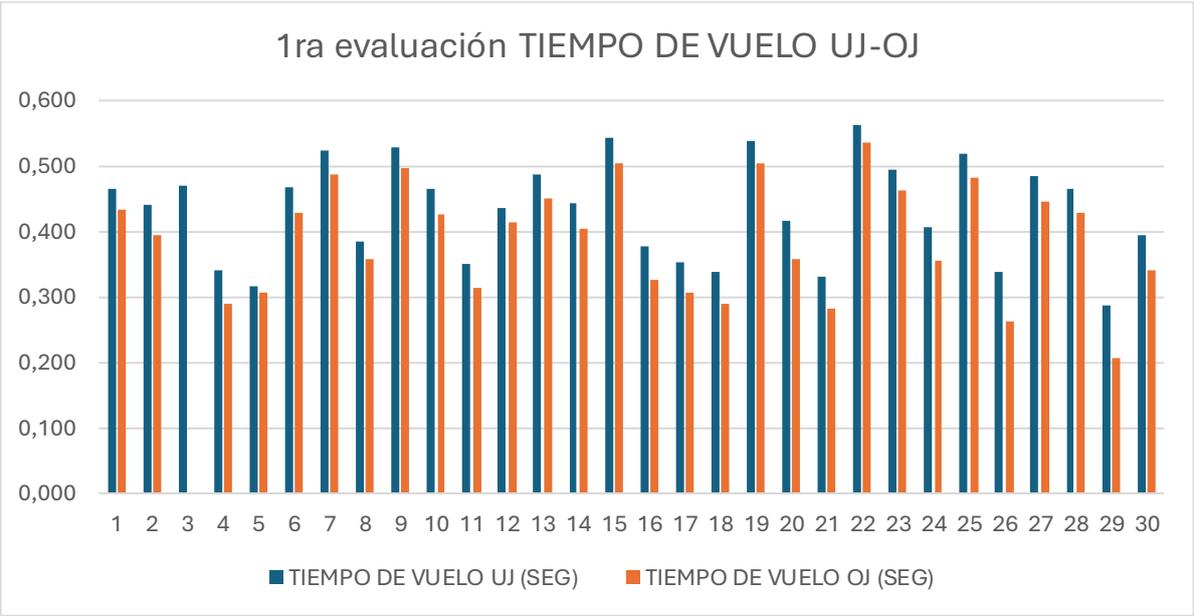
(b)



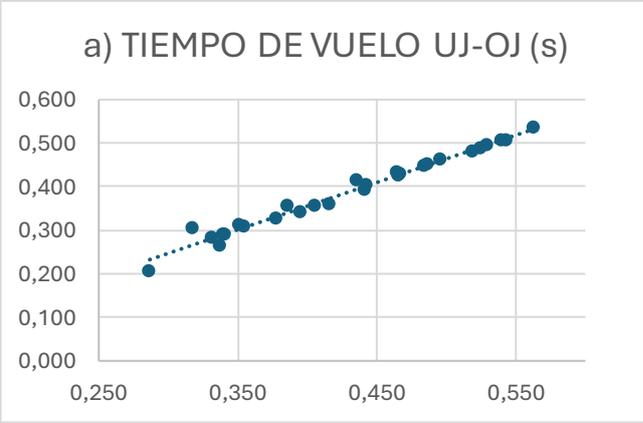
(c)

La Figura 30 (a) muestra la comparación en segundos del tiempo de vuelo medido entre los dispositivos UJ y OJ empleados. La Figura 30 (b) muestra la relación entre el tiempo de vuelo de los dispositivos UJ y OJ empleados, existiendo una correlación de 0,695 lo que sugiere una relación positiva significativa entre estas variables. El 100% de los valores de UJ son mayores que los de OJ y presentando un error del 11% con este último. La Figura 30 (c) demuestra similitud en las mediciones.

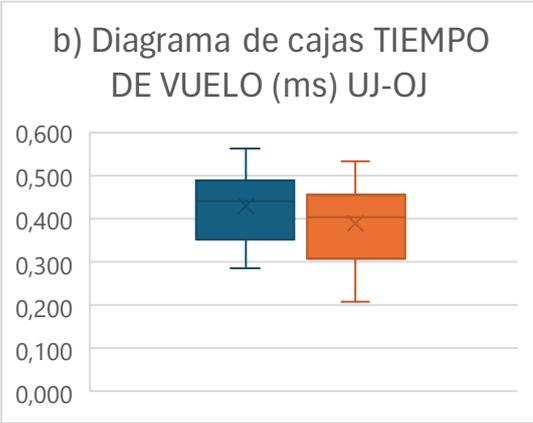
Figura 30. (a) Registros del tiempo de vuelo (s) con los equipos UJ y OJ en la primera evaluación; (b) Dispersión de datos; (c) Diagrama de cajas



(a)



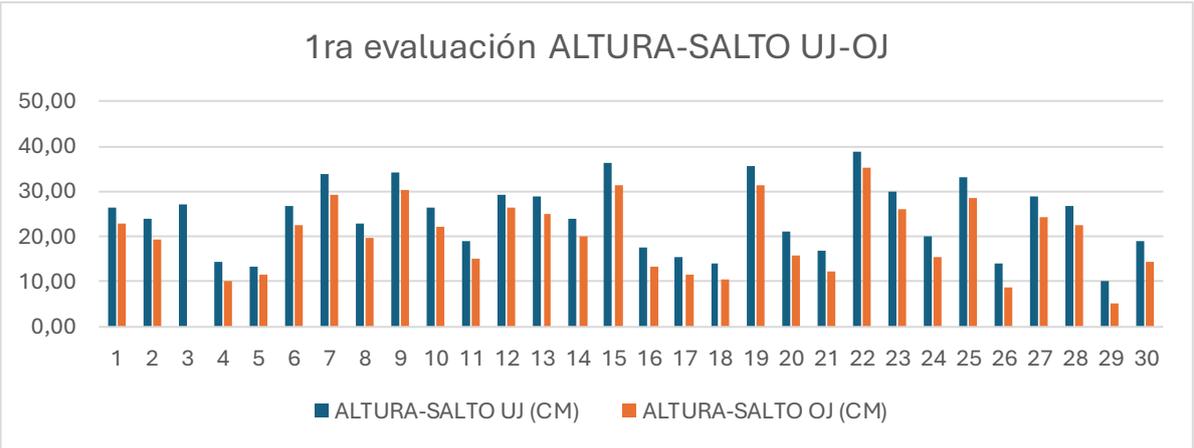
(b)



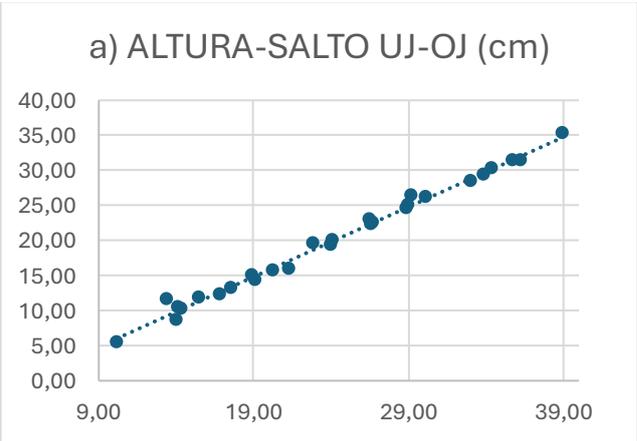
(c)

En la Figura 31 (a), se muestran los resultados del cálculo de la altura de salto con base a los registros de los dispositivos UJ y OJ. En la Figura 31 (b), se muestra la relación que existe entre la altura de salto entre los dispositivos UJ y OJ. Para este parámetro se presenta una correlación de 0,872. El prototipo de dispositivo UJ muestra valores más altos en el registro de la altura del salto. Se presenta un error del 20% con el control siendo el mayor error entre todos los parámetros. En el contexto de esta investigación, esta correlación indica que a medida que aumenta el tiempo de vuelo, también lo hacen las alturas alcanzadas en los saltos.

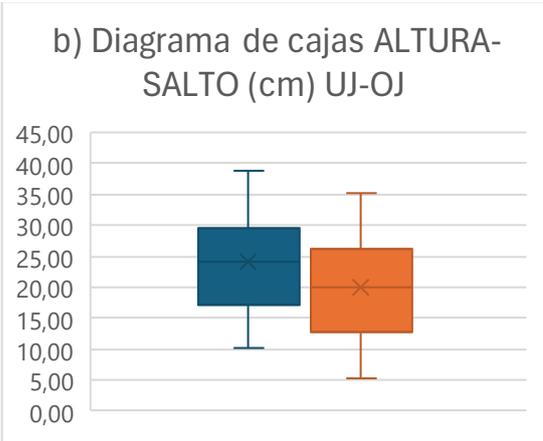
Figura 31. (a) *Altura - Salto UJ-OJ (cm)*; (b) *Dispersión de datos*; (c) *Diagrama de cajas*



(a)



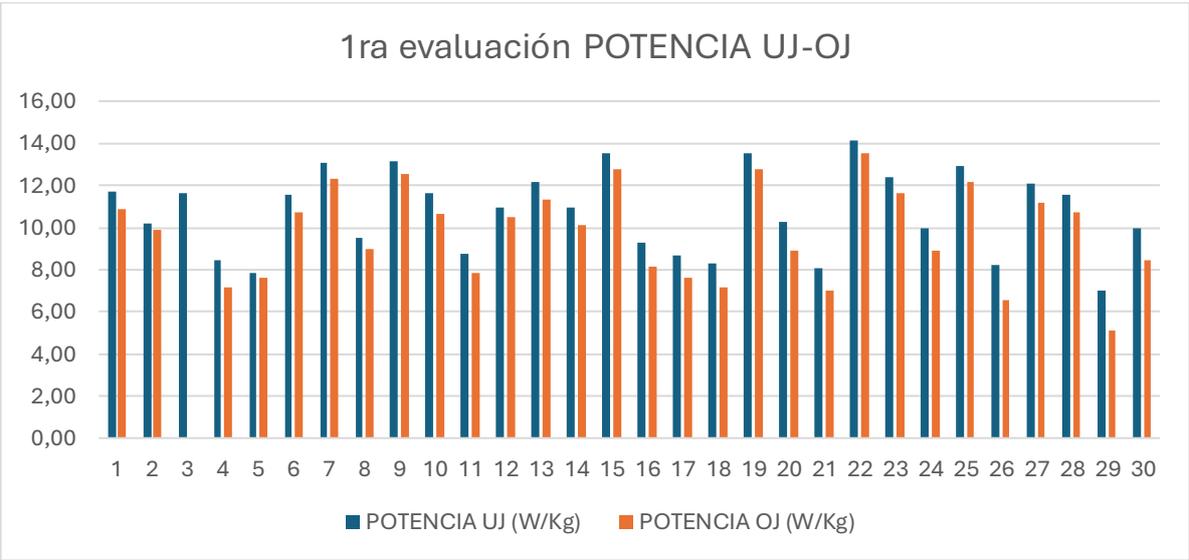
(b)



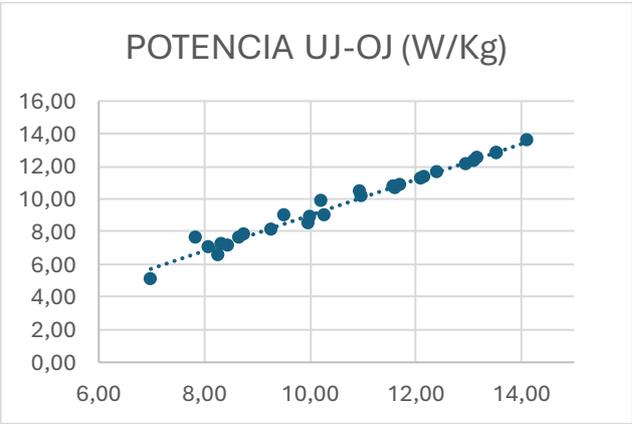
(c)

La Figura 32 (a) ilustra la relación que existe entre el salto y la potencia empleada para realizarlo. Se repite como en los 2 parámetros anteriores el 100% de los valores de UJ es mayor a los valores de OJ, presentando un error del 12% con relación al control. La Figura 32 (b), ilustra la relación que existe entre el salto y la potencia empleada para realizarlo, además de una comparación entre los dispositivos UJ y OJ. En la Figura 32 (c) se observa que la potencia del prototipo de dispositivo UJ es superior a la registrada con el OJ.

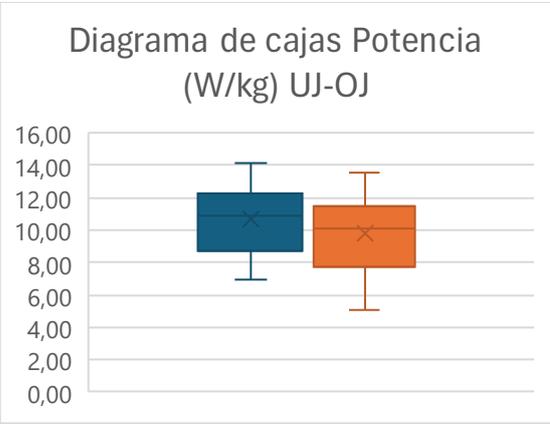
Figura 32. (a) Registro de la Potencia UJ-OJ (W/Kg); (b) Dispersión de datos; (c) Diagrama de cajas



(a)



(b)



(c)

Con base a los resultados de la Tabla 4 se puede indicar además lo siguiente:

Peso y Potencia Relativa

Se observa que los individuos con menor peso tienden a tener una mayor potencia relativa (W/kg). Por ejemplo, el participante 22, que pesa 67,81 Kg registra una potencia de 14,10 W/kg, mientras que el individuo más pesado (130,23 kg, código 30) registra 9,98 W/kg. Esto sugiere que el peso corporal influye en la capacidad de generar potencia, siendo mayor en personas con menor peso.

Tiempo de Vuelo y Altura de Salto

Hay una correlación entre el tiempo de vuelo y la altura de salto. Por ejemplo, el participante 15, con un tiempo de vuelo de 0,543 s, logra una altura de salto de 36,23 cm, que es notablemente alta en comparación con otros. En contraste, el participante 29, con un tiempo de vuelo de 0,287 s, presenta una altura de salto de 10,16 cm, lo que indica que un mayor tiempo de vuelo puede estar asociado con una mejor técnica o capacidad física para saltar más alto.

Con base a estos resultados se pudo realizar una mejora en el sistema mediante cambios en la programación de Arduino.

Posteriormente se evaluó a otro grupo, conformado por dos participantes del grupo de muestra de la primera evaluación (participante 18 y 30).

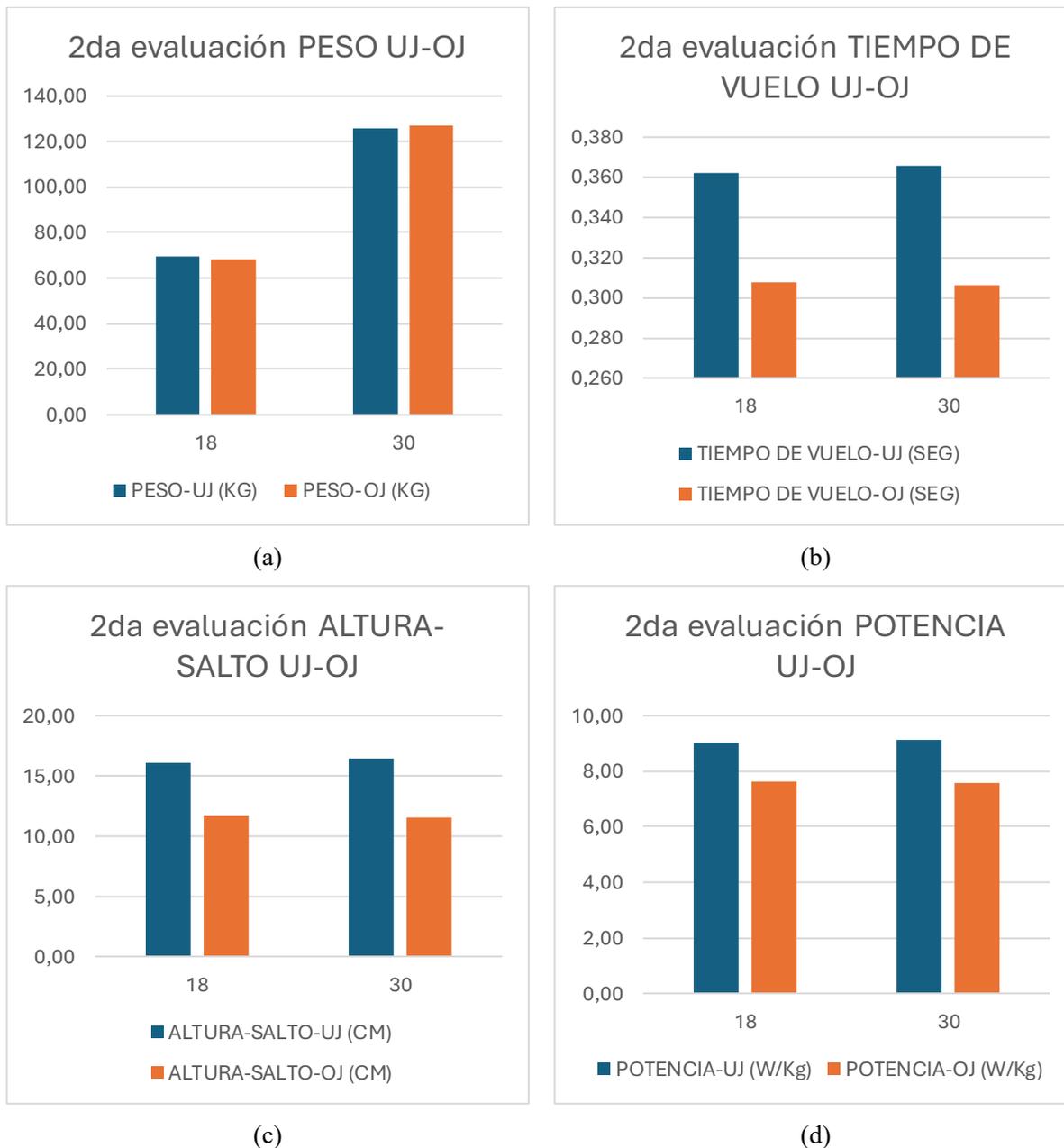
En la Tabla 5 se presentan los datos obtenidos en la evaluación del prototipo después de la calibración.

Tabla 5. *Comparación de la primera y segunda evaluación*

FECHA	CODIGO- PERSONA	PESO UJ (Kg)	PESO OJ (Kg)	TIEMPO DE VUELO UJ (s)	TIEMPO DE VUELO OJ (s)	ALTURA- SALTO UJ (cm)	ALTURA- SALTO OJ (cm)	POTENCIA UJ (W/Kg)	POTENCIA OJ (W/Kg)
9/5/2024	18	69,28	68,00	0,339	0,290	14,12	10,34	8,32	7,18
16/7/2024	18	69,62	68,00	0,362	0,307	16,11	11,61	9,03	7,63
16/5/2024	30	130,23	129,00	0,395	0,341	19,14	14,27	9,98	8,48
16/7/2024	30	126,03	127	0,366	0,306	16,43	11,55	9,12	7,59

Con base a estos resultados, en la Figura 33 (a) se muestra la comparación de los datos para el peso en la primera y segunda evaluación. Aquí se registra para el participante 18 un error del 2% y para el participante 30 un error de 0,8%, por lo tanto, no existe una diferencia significativa para aplicaciones en el campo deportivo.

Figura 33. Resultados de la segunda evaluación con los participantes 18 y 30 (a) peso (Kg); (c) tiempo de vuelo (s); altura del salto (cm); potencia (W/Kg)



Para el tiempo de vuelo en la Figura 33 (b) se muestra que existe una mayor diferencia, presentando valores mayores con el UJ, para el participante 18 existe un error del 15% y para el participante 30 un error del 16% con respecto al equipo patrón.

En los resultados de la altura de salto se presentan diferencias entre UJ y OJ como se muestra en la Figura 33 (c), presentando un error de 28% para el participante 18 y el 30% para el participante 30.

Finalmente, en la comparación de la potencia específica (Figura 33 (d)) muestra que el error para el participante 18 es del 15% y para el participante 30 el error es de 17%, ambos con relación al control OJ.

En la Figura 34 se muestra la comparación de los resultados registrados por cada parámetro para los participantes 18 y 30.

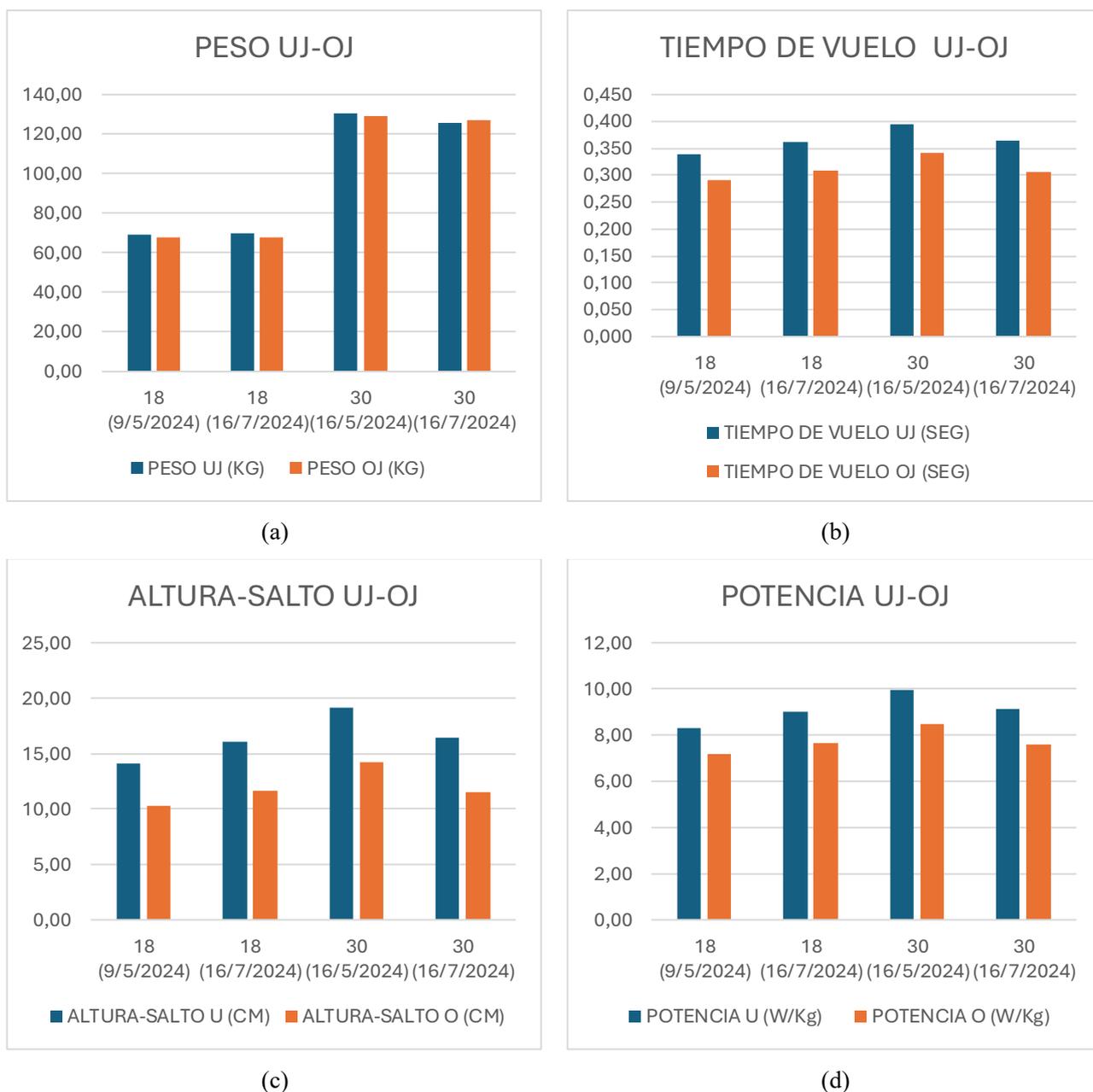
Se puede evidenciar en la Figura 34 (a) para el participante 18 no existe diferencia en el error ya que ambas pruebas poseen el valor de 2%, para el participante 30 existe una diferencia de 0,1% entre las evaluaciones que se puede considerar insignificante.

En el tiempo de vuelo comparado existe un error entre ambos participantes, ya que su diferencia de error está en 1% para el 18 y en 2% para el 30 esto se indica en la Figura 34 (b).

En la Figura 34 (c) se puede evidenciar que para el participante 18 la diferencia de errores entre evaluaciones es de 1% y para el participante 30 la diferencia de errores entre evaluaciones es de 4%.

Para la potencia específica de los dos participantes (18 y 30) la diferencia de error es de 2% como se puede visualizar en la Figura 34 (d).

Figura 34. Comparación de los resultados obtenidos en la primera y segunda evaluación con los participantes 18 y 30 (a) peso (Kg); (c) tiempo de vuelo (s); altura del salto (cm); potencia (W/Kg)



Para todos los parámetros se pudo verificar que el porcentaje de error no cambió de manera significativa entre la primera y segunda evaluación. Estos resultados demuestran que es necesario replantear el cálculo de los parámetros que se obtienen mediante fórmulas como el de la altura del salto y potencia.

8. Prueba de usabilidad

Para estimar la usabilidad del UJ, se solicitó al monitor del Laboratorio de Esfuerzo Físico de la Universidad Politécnica Salesiana desarrollar el cuestionario SUS (por sus iniciales en inglés System Usability Scale). Este cuestionario de 10 preguntas se emplea para estimar la satisfacción de un usuario de un dispositivo (persona que realiza las pruebas de salto). Aquí se evalúa con qué frecuencia utilizará este dispositivo, la complejidad para utilizarlo, que asistencia tiene para su uso, versatilidad del dispositivo y familiarización con su metodología de funcionamiento. La escala de valores tiene 1, 2, 3, 4, 5, donde la puntuación de 1 representa estar en total desacuerdo con la descripción de la pregunta y la puntuación 5 representa estar totalmente de acuerdo y un término neutro es la puntuación de 3 (Sevilla-Gonzalez, et al., 2020). El resultado general se calcula multiplicando por 2,5 la suma de las puntuaciones obtenidas. Se considera que un sistema refleja una usabilidad excelente si la puntuación obtenida es superior a 85 y si la puntuación está entre 68 y 84 se considera que el sistema tiene buena usabilidad. En la tabla 6 se presentan los resultados del cuestionario SUS.

Tabla 6. *Valoración del cuestionario SUS*

No.	Pregunta	Valor
1	Me gustaría usar esta herramienta frecuentemente.	5
2	Considero que esta herramienta es innecesariamente compleja	3
3	Considero que la herramienta es fácil de usar.	5
4	Considero necesario el apoyo de personal experto para poder utilizar esta herramienta	3
5	Considero que las funciones de la herramienta están bien integradas	5
6	Considero que la herramienta presenta muchas contradicciones	1
7	Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar esta herramienta rápidamente	5
8	Considero que el uso de esta herramienta es tedioso	1
9	Me sentí muy confiado al usar la herramienta	5
10	Necesité saber muchas cosas antes de poder empezar a usar esta herramienta	2

El resultado de la evaluación SUS fue de 87,5; resultado que refleja de manera preliminar que el sistema del UPSJUMP presenta una usabilidad excelente, sin embargo, es necesario evaluar en términos de usabilidad el UJ con más profesionales del área deportiva.

Al comparar los dispositivos (UJ y OJ), se observa que, el dispositivo UJ posee valores equivalentes en potencia y tiempo de vuelo en comparación con su contraparte OJ. Por ejemplo, UJ tiene una potencia de 11,69 W/kg y una altura de salto de 26,48 cm, mientras que OJ presenta 10.86 W/kg y 22,96 cm, respectivamente, con respecto al individuo de código 1.

9. Presupuesto

En la tabla 7 se detalla el presupuesto de este proyecto de titulación:

Tabla 7. *Detalle del presupuesto para desarrollar el UPSJUMP*

Componente	Valor unitario	Valor total
Autor	\$10 (Costo por hora)	\$2600
Transporte	\$10	\$130
Computador	\$1.000	\$1000
Componentes mecánicos (tableros x 3)	\$25	\$75
Componentes electrónicos y licencias (varios)		\$100
	Valor total del proyecto	\$3905

10. Conclusiones

El diseño e implementación de la estructura mecánica y electrónica con una interfaz de usuario del prototipo del dispositivo UPSJUMP ha sido exitoso. El sistema permite registrar el peso, tiempo de vuelo y potencia específica como parámetros para apoyar el análisis biomecánico del salto vertical en ambientes deportivos. Con base a estos datos es posible calcular y obtener también el dato de la altura de salto.

En el marco del desarrollo de la estructura mecánica e instalación de las celdas de carga es clave delimitar correctamente el área de medición, para contar con una superficie segura para el salto en la cual el usuario tenga la capacidad de aplicar fuerza en un corto período de tiempo de manera segura.

Las pruebas realizadas con el dispositivo UPSJUMP han permitido validar los parámetros medidos durante el ejercicio del salto vertical como el peso y tiempo de vuelo, porque los resultados obtenidos muestran una alta concordancia con métodos de medición establecidos, lo que respalda la fiabilidad del dispositivo. Lo manifestado es particularmente importante en el contexto del entrenamiento deportivo, en donde la evaluación del rendimiento a partir de esta información puede influir en la planificación de programas de entrenamiento y en la progresión del rendimiento deportivo. Respecto a los parámetros obtenidos a por medio de fórmulas es necesario replantear la metodología para disminuir el error de las mediciones del UJ comparado con el dispositivo patrón OJ.

El desarrollo del prototipo UPSJUMP para la medición de parámetros en el ejercicio del salto se presenta como un aporte a los procesos de evaluación del rendimiento físico. Las pruebas realizadas han validado su función de medición y se espera trabajar en las mejoras del sistema para realizar un estudio con una muestra mayor, tanto para verificar mejoras en la calibración y determinar la usabilidad del sistema.

11. Recomendaciones

El UPSJUMP representa la primera versión de este dispositivo de evaluación del ejercicio del salto vertical en la UPS, todos los componentes utilizados son de fácil acceso con precios módicos como se puede evidenciar en el presupuesto antes descrito (tabla 6). Se espera con entusiasmo que existan nuevas versiones mejoradas de este dispositivo para continuar aportando al análisis y evaluación efectiva de nuestros deportistas. En el manual de usuario y mantenimiento se encontrarán detalles importantes para el uso de este dispositivo.

12. Referencias

- Alonso Rozo, J. F., Ramírez Ladino, D. N., Romero Blanco, F. J., & López Ramírez, S. N. (2023). Entrenamiento pliométrico vs. entrenamiento con bandas elásticas para la potencia del tren inferior en salonistas juveniles de Bogotá.
- Arteaga Ruiz, J.S., y Coral Apolo, E.G. (2021). Análisis biomecánico del salto vertical en deportistas de halterofilia. Estudio por niveles y género. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 26(282), 127-149. <https://doi.org/10.46642/efd.v26i282.3159>.
- Azócar-Gallardo, J., Azócar-Arancibia, F., Gutiérrez-Laclote, G., Ávila-Saldaña, C., Olivares-Arancibia, J., & Ojeda-Aravena, A. (2022). Confiabilidad relativa entre la plataforma de contacto Axon Jump 4.0® y la plataforma Globus Ergo Tester Italia®. *Journal of Movement & Health*, 19(2).
- Betancourt González, J. C., Sánchez Córdova, B., Arias Moreno, E. R., & Barroso Padrón, E. (2020). Patrón de lateralidad en jugadores masculinos de baloncesto, reservas escolares y juveniles de La Habana. *Podium. Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*, 15(3), 449-459.
- Carrera, P. A. C., Burgos, B. S. M., & Tierra, J. V. M. (2022). Método Pliométrico como herramienta para la optimización de la fuerza muscular en jóvenes entrenados. *Revisión Sistemática (Original)*. *Olimpia*, 19(1).
- CHU, D. (2006) *Ejercicios pliométricos: deporte & entrenamiento* (ed. 3ra) Barcelona. Editorial Paidotribo.
- Chu, D. A. & Myer, G. D. (2016). *Pliometría: ejercicios pliométricos para un entrenamiento completo: (ed.)*. Editorial Paidotribo. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/116275?page=28>
- Cometti, G. (2021). *La pliometría...* Editorial INDE. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/177886?page=25>

Comyns, T. M., Murphy, J., & O'Leary, D. (2023). Reliability, Usefulness, and Validity of Field-Based Vertical Jump Measuring Devices. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(8), 1594-1599.

Condello, G., Khemtong, C., Lee, Y. H., Chen, C. H., Mandorino, M., Santoro, E., ... & Tessitore, A. (2020). Validity and reliability of a photoelectric cells system for the evaluation of change of direction and lateral jumping abilities in collegiate basketball athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(3), 55.

Control Automático, Balanza Electronica con HX711 y Arduino - [diciembre, 2023].”
<https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/balanza-electronica-hx711-arduino/>
(accessed Dec. 15, 2023)

Department of Physiology, Brody School of Medicine, East Carolina University, Greenville, North Carolina 27858.

García León, L. O., & García Hernández, T. R. (2023). Análisis de la saltabilidad en atletas juveniles femeninas de voleibol. *Ciencia y Deporte*, 8(2), 256-271.

García- López, J.; Rodriguez-Marroyo, J. A.; Pernía, R.; Ávila, M. C.; Villa, J. G. (2008) EL TIPO DE PLATAFORMA DE CONTACTO INFLUYE EN EL REGISTRO DE LA ALTURA DE SALTO VERTICAL ESTIMADA A PARTIR DEL TIEMPO DE VUELO. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de León.

García-Porrero, J. A. M. Hurlé, J. & Benítez Padilla, G. (2013). Anatomía humana: (ed.). McGraw-Hill España.
<https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/50188?page=1>

Grgic J, Scapec B, Pedisic Z, Mikulic P. (2020) Test-Retest Reliability of Velocity and Power in the Deadlift and Squat Exercises Assessed by the GymAware PowerTool System. *Front Physiol*. 2020 Sep 9;11:561682. doi: 10.3389/fphys.2020.561682. PMID: 33013482; PMCID: PMC7510176.

García, M (2018) Trastornos Musculoesqueléticos. COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.

<https://www.insst.es/documents/94886/626291/-%09Plan+de+acci%C3%B3n+para+la+prevenci%C3%B3n+de+trastornos+musculoesquel%C3%A9ticos/d65becde-81e3-45ba-b284-47e70a843b94>

Garrido García, M. (2018). La importancia turística de los eventos deportivos en Segovia.

Granja Rueda, B. L., & Morales Peñafiel, S. A. (2022). Plan de ejercicios pliométricos y propioceptivos para estabilidad de tobillo y salto vertical en jugadoras profesionales de baloncesto seleccionadas de la provincia de Pichincha periodo agosto-septiembre 2021 (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).

Hanley, B., & Tucker, C. B. (2019). Reliability of the OptoJump Next system for measuring temporal values in elite racewalking. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(12), 3438-3443.

Instructables. (2020, 22 octubre). Arduino Bathroom Scale With 50 Kg Load Cells and HX711 Amplifier. Instructables. <https://www.instructables.com/Arduino-Bathroom-Scale-With-50-Kg-Load-Cells-and-H/>

Jeffrey A Potteiger, Paul E Luebbbers, Mathew W Hulver, John P Thyfault, Michael J Carper y Robert H Lockwood (2003). Efectos del Entrenamiento Pliométrico y la Recuperación sobre el Rendimiento en el Salto Vertical y la Potencia Anaeróbica. Health and Human Performance Laboratory, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia 23284.

Komi, P.V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise Sport Science Review* 12. 81-121.

Leuciuc, F. V. (2020). USING MYOTEST AS A HIGH PRECISION DEVICE TO ASSESS STRENGTH FOR STUDENT ATHLETES. In Conference proceedings of «eLearning and Software for Education «(eLSE) (Vol. 16, No. 03, pp. 382-387). Carol I National Defence University Publishing House.

López, C. B., Pastor, V. Ú., & Belloch, S. L. (2022). El perfil fuerza-velocidad en salto y sprint. Una revisión narrativa. *EmásF: revista digital de educación física*, (74), 72-97.

Lucid App, Diseñado y recuperado online, 21 de junio del 2024.
https://lucid.app/lucidchart/9eb07359-9e92-40be-9588-83de22ced8bf/edit?beaconFlowId=AE539BAF2FC46348&invitationId=inv_487d0b5c-30fe-4c19-951d-75d29680491a&page=0_0

Manzano, R. (2019) La resistencia anaeróbica y el rendimiento físico de los seleccionados de fútbol de la Unidad Educativa Bolívar de la ciudad de Ambato.

Marcelo Guimarães Silva, Pedro Vieira Sarmet Moreira, Henrique Martins Rocha. (2017) Development of a low cost force platform for biomechanical parameters análisis. RESEARCH ON BIOMEDICAL ENGINEERING, Volume 33, Number 3, p. 259-268, 2017, Brazil.

Moreno, O. D. M., Arias, I. G. B., Chávez, H. S. T., & Anilema, J. A. S. (2021). Incidencia de la pliometría en el rendimiento deportivo de deportistas de baloncesto. Dominio de las Ciencias, 7(4), 8.

OPTOJUMP (2014), Microgate Srl [Online] Recuperado el 4 de abril del 2024.

Orange, S. T., Metcalfe, J. W., Marshall, P., Vince, R. V., Madden, L. A., & Liefieith, A. (2020). Test-retest reliability of a commercial linear position transducer (GymAware PowerTool) to measure velocity and power in the back squat and bench press. The Journal of Strength & Conditioning Research, 34(3), 728-737.

Pabón Ramírez, J. V. (2023). Diseño de objetos para yoga y meditación desde la visión del equilibrio holístico (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).

Pardos-Mainer, E., Casajús, J. A., & Gonzalo-Skok, O. (2019). Adolescent female soccer players' soccer-specific warm-up effects on performance and inter-limb asymmetries. Biology of sport, 36(3), 199-207.

Parra, P. M. B. (2023). Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación Maestría en Entrenamiento Deportivo (Doctoral dissertation, Universidad de Cuenca).

PÉREZ RUIZ, O. A.; VILLEGAS SÁEZ, A. F. Fundamentos de biomecánica deportiva. ed. La Habana: Editorial Universitaria, 2021. 734 p. Disponible en:

<https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/188663?page=234>.

Consultado en: 28 Oct 2023

- Pueo, B., Penichet-Tomas, A., & Jimenez-Olmedo, J. (2020). Reliability and validity of the Chronojump open-source jump mat system. *Biology of sport*, 37(3), 255-259.
- Rapotan, A., Mihăilescu, L., & Mihai, I. (2023). The impact of Optojump training on the power of lower limbs in female triple jumpers. *Journal of Physical Education and Sport*, 23(2), 555-563.
- Reyes Montenegro, S. I. (2023). Relación entre el Rendimiento Físico y el Desempeño en Karatecas Adultos: Revisión Sistemática (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Rolong, C. Rebolledo, R (2019). Relación entre la saltabilidad y la estabilidad de la musculatura central en futbolistas profesionales (Vol. 14) *Revista cubana de medicina del deporte y la cultura física*.
- Romero Naranjo, F. J., & Andreu Cabrera, E. (2023). Condición física y Neuromotricidad. Justificación teórico-práctica según el método BAPNE (Physical condition and neuromotricity. Theoretical-practical justification according to the BAPNE method). *Retos*, 50, 215-227.
- Stanford Medicine Children's Health. (2023). [Stanfordchildrens.org. https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=estadisticasdelaslesionesdeportivas-90-P04753](https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=estadisticasdelaslesionesdeportivas-90-P04753)
- Sevilla-Gonzalez MDR, Moreno Loaeza L, Lazaro-Carrera LS, Bourguet Ramirez B, Vázquez Rodríguez A, Peralta-Pedrero ML, Almeda-Valdes P. Spanish Version of the System Usability Scale for the Assessment of Electronic Tools: Development and Validation. *JMIR Hum Factors*. 2020 Dec 16;7(4):e21161. doi: 10.2196/21161. PMID: 33325828; PMCID: PMC7773510.
- Valero, C. S. (2018). Aplicación de métodos de aprendizaje automático en el análisis y la predicción de resultados deportivos. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (34), 377-382.

Weart, A. N., Miller, E. M., Freisinger, G. M., Johnson, M. R., & Goss, D. L. (2020). Agreement between the OptoGait and instrumented treadmill system for the quantification of spatiotemporal treadmill running parameters. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 571385.

Palazzi, D (2005). Manual del Usuario AxonJump Ver2.01. Axón bioingeniería deportiva.

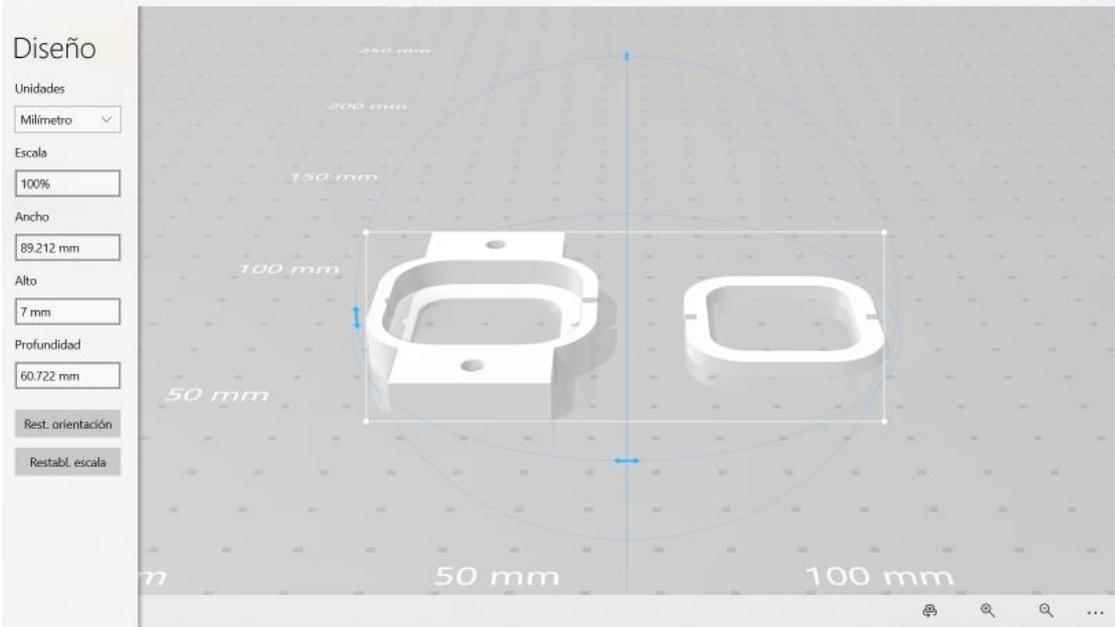
Peña, G., Heredia, J., Arenas, A., Perez, C., Aguilera, J. (2017). Dispositivos y Técnicas Para la Medición del Rendimiento del Salto Vertical: ¿Qué Opciones Tenemos? *journal International Journal of Physical Exercise and Health Science for Trainers*.

University of Kansas, Department of Health, Sport and Exercise Sciences, Lawrence, Kansas 66044.

VALD Health. (2023). ForceDecks | Dual Force Plate System | VALD Tactical. VALD Tactical. <https://valdtactical.com/forcedecks/>

13. Anexos

Anexo 1. Diseño de impresiones para celdas de carga de 50 kg



Anexo 2. Consentimiento informado para realización de pruebas



Consentimiento informado para realización de prueba de usabilidad SUS y PSSUQ

Encuestadores

Investigador: Pablo Fabián Moscoso Fernández Salvador

Directora de la Tesis: Ing. Ana Cecilia Villa Parra P.hD.

Nombre de la Organización: Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB).

Nombre de la Propuesta: DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL SALTO VERTICAL UPSJUMP

Este Documento de Consentimiento Informado tiene dos partes:

Información (proporciona información sobre el estudio)

Formulario de Consentimiento (para firmar si está de acuerdo en participar) Se le dará una copia del Documento completo de Consentimiento Informado

PARTE I: Información

Soy Pablo Moscoso Fernández Salvador, colaboro con el grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Me encuentro realizando mi trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniero Biomédico de la Universidad Politécnica Salesiana, enfocado en el campo de la evaluación del rendimiento deportivo (salto vertical). Le vamos a brindar información e invitarle a participar de esta evaluación del prototipo. Antes de decidirse, puede hablar con la tutora de mi proyecto la Ingeniera Ana Cecilia Villa sobre la investigación. En el caso si existen palabras que no entienda, puedo detenerme mientras le informo para ampliar la explicación. Además, si tiene preguntas más tarde, puede preguntar a mi tutora o a mi persona.

Propósito

El prototipo para medir los parámetros del salto vertical UPSJUMP (UJ), surge como una necesidad para las/los deportistas y/o estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana que requieren evaluar su desempeño físico en las diferentes disciplinas deportivas que practican. El método que se aplica es una evaluación comparativa entre:

El dispositivo validado a nivel internacional y adquirido por la UPS denominado OPTOJUMP (OJ) y el dispositivo UJ desarrollado por mi persona Pablo Moscoso, con guía de la Ingeniera Ana Cecilia Villa. El OJ representa el dispositivo control para corregir y mejorar el UJ.

Participación Voluntaria

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no hacerlo. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aun cuando haya aceptado antes.

Procedimientos y Protocolo

Descripción del Proceso

El presente estudio incluye 5 pruebas prácticas, en las cuales en cada una se le pedirá que realice saltos a reacción auditiva durante 1 minuto de acuerdo con el temporizador online programado en la portátil del prototipo UPSJUMP. El aviso de inicio y fin de cada prueba la da el dispositivo OPTOJUMP con un estímulo auditivo. Los descansos entre cada prueba van a depender de la resistencia de la persona evaluada (sin descansos, 30 o 60 segundos), durante todo este tiempo, el evaluador y los evaluados podrán tomar nota, tomar fotografías o grabar video de las pruebas realizadas.

Una vez finalizadas las pruebas prácticas, se procede a la entrega de dos cuestionarios: SUS y PSSUQ, mismos que permiten recopilar información sobre el prototipo y la aplicación que se está evaluando.

Duración

Yo _____,

Declaro que he sido informado e invitado a participar en una investigación denominada DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL SALTO VERTICAL "UPSJUMP, éste es un proyecto de investigación científica que cuenta con el respaldo del grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana. Entiendo que este estudio busca conocer la capacidad que el tiene el prototipo UPSJUMP de cumplir el propósito para el cual fue diseñado, además de observar cómo las personas utilizan dicha aplicación de la manera más realista posible, para así poder detectar los problemas potenciales y la percepción subjetiva de los usuarios y sé que mi participación se llevará a cabo el día _____, en el horario _____ y consistirá en responder dos encuestas. Me han explicado que la información registrada no será confidencial, pero que mi información personal sí.

Estoy en conocimiento que los datos no me serán entregados y que no habrá retribución por la participación en este estudio, que esta información se procesará y usará en beneficio de la UPS y la sociedad dada la investigación que se está llevando a cabo. Soy consciente de que puedo declinar mi participación o retirarme en cualquier etapa de la investigación, sin expresión de causa ni consecuencias negativas para mí.

He leído la información proporcionada o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación y he recibido una copia del presente documento.

Nombre del Participante _____

Firma del Participante _____

Fecha _____ (Día/mes/año)

Anexo 3. Encuesta SUS

No.	Pregunta	Escala				
		Totalmente en desacuerdo	2	3	4	Totalmente de acuerdo
1	Me gustaría usar esta herramienta frecuentemente.	1	2	3	4	5
2	Considero que esta herramienta es innecesariamente compleja	1	2	3	4	5
3	Considero que la herramienta es fácil de usar.	1	2	3	4	5
4	Considero necesario el apoyo de personal experto para poder utilizar esta herramienta	1	2	3	4	5
5	Considero que las funciones de la herramienta están bien integradas	1	2	3	4	5
6	Considero que la herramienta presenta muchas contradicciones	1	2	3	4	5
7	Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar esta herramienta rápidamente	1	2	3	4	5
8	Considero que el uso de esta herramienta es tedioso	1	2	3	4	5
9	Me sentí muy confiado al usar la herramienta	1	2	3	4	5
10	Necesité saber bastantes cosas antes de poder empezar a usar esta herramienta	1	2	3	4	5

Tomado de: (Sevilla-Gonzalez, 2020)

Anexo 4. Manual de usuario y mantenimiento UPSJUMP

Introducción

Este dispositivo representa la primera versión de una herramienta experimental de análisis y evaluación deportiva en donde, tanto los usuarios como los operadores contarán con datos que permitan reestructura el entrenamiento y el rendimiento deportivo.

Video tutorial

Para el uso en general del dispositivo ingresar al siguiente enlace:

<https://youtu.be/XJohnpcUV2o>

Mantenimiento del dispositivo

Para un buen uso y alargar la vida útil del dispositivo recordar y practicar las siguientes recomendaciones:

- a) Evitar el contacto con el agua de los componentes electrónicos (celdas de carga de 50 kg, modulo Hx711, Arduino ESP32, cables y conectores); para la limpieza de estas partes utilizar una tela seca y sin emisión de partículas.
- b) Evitar golpes y caídas de los componentes mecánicos, electrónicos y hardware, para precautelar la correcta funcionalidad del sistema.
- c) Revisar el datasheet de los componentes electrónicos antes de realizar alguna modificación por avería o corrección del sistema. A continuación, se muestra los links para ingresar a la información de los componentes:

Arduino-ESP32

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

Modulo-Hx711

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1371088/SPARKFUN/HX711.html>

Celda de carga de 50 Kg

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/loadsensor.pdf>

Opciones avanzadas

Para mayor comodidad de los operarios del UPSJUMP se presentan 2 códigos con las siguientes credenciales:

Versión gratuita

- Usuario: prototipo.salto@gmail.com
- Contraseña: S2OxTzaWZW3rL3tyMzvq

Versión de paga

- Usuario: upsjumpproyecto@gmail.com
- Contraseña: 12345678.a

Es recomendable en el programa de Arduino IDE con la opción de código que se haya elegido, seleccionar en la opción **Upload** y **Verify** para asegurarse que el código está cargado y verificado en el arduino ESP32 una vez que ya está conectado todo el dispositivo.

Nota: antes de cargar el código verificar el swtich (interruptor) en apagado (0) para evitar errores en el proceso.

Código para versión gratuita

```
#include <esp_netif.h>
#include <esp_log.h>
#include <esp_wifi.h>
#include <nvs_flash.h>
#include <esp_random.h>
#include <Espressif_MQTT_Client.h>
#include <ThingsBoard.h>
#include <WiFi.h>
#include "HX711.h"
#define calibracion 21669 // Obtained from Factor_de_Calibration program
// HX711 circuit wiring
const int LOADCELL_DOUT_PIN = 12;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 14;

const char* ssid = "DESKTOP-PABLO";
const char* password = "12345678";
constexpr char TOKEN[] = "VkH1hXzAXhvLnz7R8gIv";
constexpr char THINGSBOARD_SERVER[] = "demo.thingsboard.io";
constexpr uint16_t THINGSBOARD_PORT = 1883U;
const float ajuste = 26.48;
HX711 scale;

constexpr uint16_t MAX_MESSAGE_SIZE = 128U;
constexpr char TEMPERATURE_KEY[] = "temperature";
constexpr char HUMIDITY_KEY[] = "humidity";
Espressif_MQTT_Client mqttClient;
ThingsBoard tb(mqttClient, MAX_MESSAGE_SIZE);
static StaticJsonDocument<MAX_MESSAGE_SIZE> telemetry_doc;
// Status for successfully connecting to the given WiFi
bool wifi_connected = false;
```

```

/// @brief Callback method that is called if we got an ip address from the connected WiFi
meaning we successfully established a connection
/// @param event_handler_arg User data registered to the event
/// @param event_base Event base for the handler
/// @param event_id The id for the received event
/// @param event_data The data for the event, esp_event_handler_t
void on_got_ip(void* event_handler_arg, esp_event_base_t event_base, int32_t event_id,
void* event_data) {
    ESP_LOGV("on_got_ip", "WiFi conectado ...");
    wifi_connected = true;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
    scale.set_scale(calibracion);
    scale.tare();
    delay(1000);

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.println("\nConnecting");
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
        Serial.print(".");
        delay(100);
    }
    Serial.println("\nConnected to the WiFi network");
    Serial.print("Local ESP32 IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

void loop() {

    Serial.println("PROCESO DE PESADO: ");
    bool procWeighting = true;
    float maxWeight = 1;
    int timesW = 0;
    while (procWeighting == true ){
        if (scale.is_ready()) {
            float weight = scale.get_units();
            //Serial.print("HX711 reading: ");
            //Serial.print(weight-ajuste);
            //Serial.println(" Kg.");
            if (weight-ajuste > 5){
                if (weight-ajuste > 5){
                    maxWeight = weight-ajuste;
                }
                timesW = timesW+1;
            }
        } else { }
        delay(1000);
        if (timesW >= 5){
            procWeighting = !procWeighting;
            Serial.print(maxWeight);
            Serial.println(" Kg.");
        }
    }

    Serial.println("PROCESO DE SALTO: ");
    bool procJumping = true;
    bool jump = false;
    unsigned long StartTime = 0;
    unsigned long EndTime = 0;

```

```

double timeJump = 0;
float pesoArriv = 0;
while (procJumping == true ){
  if (scale.is_ready()) {
    float weight = scale.get_units();
    if (weight-ajuste < 10 && jump == false){
      StartTime = millis();
      jump = true;
    }
    if (weight-ajuste > 10 && jump == true){
      EndTime = millis();
      procJumping = false;
      float pesoArriv = weight-ajuste;
    }
    if(weight-ajuste>pesoArriv){
      pesoArriv=weight-ajuste;
    }
  }
}
timeJump = EndTime-StartTime;
Serial.print(timeJump);
Serial.println(" ms.");
Serial.println(pesoArriv);
Serial.println(" Kg.");

if (!tb.connected()) {
  tb.connect(THINGSBOARD_SERVER, TOKEN, THINGSBOARD_PORT);
}

float peso = maxWeight;
float tiempo = timeJump;
float potencia = (sqrt(9.81*9.81)*timeJump*sqrt(timeJump+10000))/(4*10000);
String jsonData = "{\"peso\":\" + String(peso,2) + ", \"tiempo\": " + String(tiempo,2) +
",\"potencia\": " + String(potencia,2) +"}";
//ESP_LOGI("jsonData", "... %s", jsonData.c_str());

tb.sendTelemetryJson(jsonData.c_str());
tb.loop();
//vTaskDelay(60000 / portTICK_PERIOD_MS);
}

```

Código para versión de paga

```

#include <esp_netif.h>
#include <esp_log.h>
#include <esp_wifi.h>
#include <nvs_flash.h>
#include <esp_random.h>
#include <Espressif_MQTT_Client.h>
#include <ThingsBoard.h>
#include <WiFi.h>
#include "HX711.h" //Incluye las librerías
#define calibracion 21669 // Se obtiene del programa el factor de calibración
// Cableado del modulo Hx711
const int LOADCELL_DOUT_PIN = 12;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 14;

const char* ssid = "DESKTOP-PABLO";
const char* password = "12345678"; // Conexión a la red movil con el usuario y contraseña
del computador
constexpr char TOKEN[] = "QrRptioElZFqZUt7QQrw"; // Codigo de seguridad TOKEN
constexpr char THINGSBOARD_SERVER[] = "thingsboard.cloud"; //conexión con la interfaz
thingsboard.cloud

```

```

constexpr uint16_t THINGSBOARD_PORT = 1883U; //conexión con el puerto de la interfaz
thingsboard.cloud
const float ajuste = 26.48; // constante de ajuste para el calculo del peso
HX711 scale;

constexpr uint16_t MAX_MESSAGE_SIZE = 128U;
constexpr char TEMPERATURE_KEY[] = "temperature";
constexpr char HUMIDITY_KEY[] = "humidity";
Espressif_MQTT_Client mqttClient;
ThingsBoard tb(mqttClient, MAX_MESSAGE_SIZE);
static StaticJsonDocument<MAX_MESSAGE_SIZE> telemetry_doc;
// Estado de la conexión a la red WiFi
bool wifi_connected = false;

/// @brief Método callback que se llama si hemos obtenido una dirección ip de la WiFi
conectada lo que significa que hemos establecido una conexión con éxito
/// @param event_handler_arg Datos del usuario registrado en el evento
/// @param event_base Base de eventos para el controlador
/// @param event_id Id del evento recibido
/// @param event_data Los datos del evento, esp_event_handler_t
void on_got_ip(void* event_handler_arg, esp_event_base_t event_base, int32_t event_id,
void* event_data) {
    ESP_LOGV("on_got_ip", "WiFi conectado ...");
    wifi_connected = true;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
    scale.set_scale(calibracion);
    scale.tare();
    delay(1000);

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.println("\nConnecting");
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
        Serial.print(".");
        delay(100);
    }
    Serial.println("\nConnected to the WiFi network");
    Serial.print("Local ESP32 IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

void loop() {
    Serial.println("PROCESO DE PESADO: "); // Se muestra al usuario el inicio del proceso de
pesado
    bool procWeighting = true;
    float maxWeight = 1;
    int timesW = 0; // variables para el calculo del peso
    while (procWeighting == true ){ // Inicio del condicional para el calculo del peso
        if (scale.is_ready()) { // Inicio del proceso de pesado
            float weight = scale.get_units();
            //Serial.print("HX711 reading: ");
            //Serial.print(weight-ajuste);
            //Serial.println(" Kg.");
            if (weight-ajuste > 5){
                if (weight-ajuste > 5){
                    maxWeight = weight-ajuste; // calculo de la variable peso
                }
            }
            timesW = timesW+1;
        }
    }
}

```

```

    }
    } else { }
    delay(1000);
    if (timesW >= 5){ // finalización del condicional del proceso de pesado
        procWeighting = !procWeighting; // Finalización del proceso de pesado
        Serial.print(maxWeight); // Impresión del peso
        Serial.println(" Kg."); // Impresión de las unidades del peso
    }
}
Serial.println("PROCESO DE SALTO: "); // Se muestra al usuario el inicio del proceso de
salto
bool procJumping = true;
bool jump = false;
unsigned long StartTime = 0;
unsigned long EndTime = 0;
double timeJump = 0;
float pesoArriv = 0; // variables para el calculo del tiempo de vuelo
while (procJumping == true ){ // condicional para el proceso de salto
    if (scale.is_ready()) { // inicio del calculo del tiempo de vuelo
        float weight = scale.get_units();
        if (weight-ajuste < 10 && jump == false){ // condicional en apagado para el calculo
del tiempo de vuelo
            StartTime = millis(); // unidad inicial del tiempo de vuelo
            jump = true; // inicio del contador para el proceso de salto
        }
        if (weight-ajuste > 10 && jump == true){ // condicional en encendido para el calculo
del tiempo de vuelo
            EndTime = millis(); // unidad final del tiempo de vuelo
            procJumping = false; // finalización del proceso de salto
            float pesoArriv = weight-ajuste;
        }
        if(weight-ajuste>pesoArriv){
            pesoArriv=weight-ajuste;
        }
    }
}
timeJump = EndTime-StartTime; // formula para el calculo del tiempo de vuelo
Serial.print(timeJump); // impresión del tiempo de vuelo
Serial.println(" ms."); // impresión de las unidades del tiempo de vuelo
Serial.println(pesoArriv); // impresión del peso obtenido
Serial.println(" Kg."); // impresión de las unidades del peso obtenido
if (!tb.connected()) {
    tb.connect(THINGSBOARD_SERVER, TOKEN, THINGSBOARD_PORT); // Conexión entre el
servidor, el puerto y el token de la pagina thingsboard
}
float peso = maxWeight; // Variable del peso
float tiempo = timeJump; // Variable del tiempo de vuelo
float potencia = (sqrt(9.81*9.81)*timeJump*sqrt(timeJump+10000))/(4*10000); // Variable
de la potencia con formula
String jsonData = "{\"peso\":\" + String(peso,2) + ", \"tiempo\": " + String(tiempo,2) +
",\"potencia\": " + String(potencia,2) +"}"; // Trama json con las variables
//ESP_LOGI("jsonData", "... %s", jsonData.c_str());
tb.sendTelemetryJson(jsonData.c_str()); // se envia la trama json con las variables peso,
tiempo de vuelo y potencia
tb.loop();
//vTaskDelay(60000 / portTICK_PERIOD_MS);
}

```

