

## WEARABLE DEVICE BASADO EN SENSOR INERCIAL, CON CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO EN MEMORIA SD

Samuel Casanova Calzadilla<sup>1</sup>, Osniel Alejandro García Orihuela<sup>2</sup>, Elías Osmany García Alvaredo<sup>3</sup>, Mario Bernal Pérez<sup>4</sup>, Gianna Arencibia Castellanos<sup>5</sup>, Fidel Ernesto Hernández Montero<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup>Universidad Tecnológica de La Habana. “José Antonio Echevarría”, CUJAE,  
Ave 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba

<sup>1</sup>e-mail: [samuelca@tele.cujae.edu.cu](mailto:samuelca@tele.cujae.edu.cu)

<sup>2</sup>e-mail: [osnielaga@tele.cujae.edu.cu](mailto:osnielaga@tele.cujae.edu.cu)

<sup>3</sup>e-mail: [eliasgarcia2206@gmail.com](mailto:eliasgarcia2206@gmail.com)

<sup>4</sup>e-mail: [mayitobp99@gmail.com](mailto:mayitobp99@gmail.com)

<sup>5</sup>e-mail: [gianna960525@gmail.com](mailto:gianna960525@gmail.com)

<sup>6</sup>e-mail: [fhernandez@tele.cujae.edu.cu](mailto:fhernandez@tele.cujae.edu.cu)

### RESUMEN

La automatización para obtener determinados parámetros de la marcha procedentes de unidades inerciales es una necesidad fundamental para facilitar la evaluación del desempeño físico. Este proyecto propone el desarrollo de un dispositivo de medición de parámetros biomecánicos de la marcha, que pueda ser utilizado como prueba médica en pacientes de la tercera edad. Utiliza un microcontrolador ESP32 y un módulo ICM-20948. El microcontrolador ESP32 recopila datos del sensor inercial y los transmite vía Bluetooth o los almacena en una tarjeta SD para su posterior análisis.

**PALABRAS CLAVE:** parámetros biomecánicos de la marcha, sensor inercial, unidades de medición inercial, IMUs, almacenamiento en memoria SD.

## WEARABLE DEVICE BASED ON AN INERTIAL SENSOR, WITH SD MEMORY STORAGE CAPACITY

### ABSTRACT

Automation to obtain certain gait parameters from inertial units is a fundamental need to facilitate the evaluation of physical performance. This project proposes the development of a biomechanical gait parameter measurement device that can be used as a medical test for elderly patients. It uses an ESP32 microcontroller and an ICM-20948 module. The ESP32 microcontroller collects data from the inertial sensor and transmits it via Bluetooth or stores it on an SD card for further analysis.

**INDEX TERMS:** biomechanical gait parameters, inertial sensor, inertial measurement units, IMUs, SD memory storage.

### 1. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento es un proceso irreversible que conlleva cambios estructurales y funcionales comunes a todas las especies, resultado de una disminución en la capacidad de adaptación. Este fenómeno cobra especial relevancia al analizar las tendencias demográficas actuales. Según la Organización Mundial de la Salud, se estima que la proporción de la población mundial mayor de 60 años crecerá del 12 % en 2015 al 22 % en 2050. En 2021, se registraron 761 millones de personas mayores de 65 años a nivel mundial, y se prevé que esta cifra alcance los 1.600 millones para 2050 [1] [2]. Este incremento en la población envejecida representa un desafío significativo para los sistemas sanitarios y sociales de los países, que deben prepararse para afrontar este cambio demográfico.

La atención adecuada del adulto mayor es un asunto de relevancia social y económica, dado su impacto en la población y los sistemas de salud. La detección temprana de fragilidad en ancianos, mediante técnicas diagnósticas, terapéuticas

y de rehabilitación oportunas, puede mejorar su calidad de vida y evaluar riesgos como demencia, caídas y mortalidad prematura. Estudios resaltan la importancia de los indicadores de desempeño físico, particularmente los parámetros de la marcha, para clasificar el grado de funcionalidad y deterioro físico en este grupo poblacional [3]. Existen diferentes métodos para el análisis y estimación de las características espacio-temporales de la marcha. Uno de ellos es mediante sistemas de captura de movimiento, basados en cámaras en entornos controlados. Estos sistemas con cámaras optoelectrónicas infrarrojas son considerados el estándar para el análisis cinemático de la marcha, proporcionan datos detallados y precisos sobre los movimientos humanos, pero tienen un costo muy elevado por requerir equipos especializados. Los procesos de calibración del sistema y la preparación de los sujetos pueden ser largos y laboriosos, lo que puede limitar la eficiencia en entornos clínicos o de investigación. Además, restringen las pruebas en ambientes controlados de laboratorio, lo que puede no reflejar con precisión las condiciones de la vida diaria de los sujetos evaluados [4] [5].

Otra de las metodologías empleadas para este fin es el uso de sensores colocados en el suelo a lo largo del trayecto de marcha. Estos sensores, generalmente basados en tecnologías como plataformas de presión o sensores piezoeléctricos, se instalan en el suelo para registrar las fuerzas y presiones ejercidas durante el contacto del pie con el suelo. Al analizar estos datos, se pueden identificar patrones de marcha, detectar fases específicas del ciclo de la marcha y evaluar la distribución de la presión plantar. La instalación y mantenimiento de estos sistemas pueden ser costosos, lo que limita su accesibilidad en algunos entornos clínicos. Al centrarse en el contacto del pie con el suelo, pueden no capturar información completa sobre otros aspectos de la marcha, como la fase de vuelo o la dinámica del movimiento de las extremidades superiores. Además de ser propensos a errores, factores como el tipo de calzado, la velocidad de marcha y las condiciones del suelo pueden influir en la precisión de los datos recogidos, requiriendo una interpretación cuidadosa de los resultados [6].

El uso de dispositivos portátiles, conocidos como Wearable Devices, equipados con Unidades de Medición Inercial (IMU), es uno de los métodos que ha ganado popularidad en contextos clínicos, deportivos, biométricos y de entretenimiento. Estos son dispositivos que integran acelerómetros, giroscopios y, en ocasiones, magnetómetros, permitiendo medir la aceleración lineal y la velocidad angular en tres ejes (x, y, z). Estas mediciones se utilizan para calcular la orientación y posición de las articulaciones o segmentos corporales en movimiento. A pesar de que las mediciones pueden verse afectadas por ruidos, requerir procedimientos de calibración precisos y configuraciones específicas para garantizar mediciones exactas, constituyen una propuesta de bajo costo. Son útiles, con gran número de aplicaciones en rehabilitación, entrenamiento deportivo y monitoreo de la actividad física, proporcionando información valiosa para la evaluación y mejora del rendimiento. Al ser dispositivos compactos y ligeros, pueden ser fijados al cuerpo sin interferir significativamente en las actividades del usuario. Permiten la monitorización del movimiento en entornos reales, fuera de laboratorios, ofreciendo datos más representativos de las actividades diarias [7].

Como el resto del mundo, Cuba presenta un alto índice de envejecimiento, fenómeno que va en aumento y es irreversible. Con una tendencia al incremento en la prevalencia de afecciones crónicas en ancianos, presta una relevante atención a este fenómeno demográfico [8], lo cual ha incentivado el desarrollo de estudios y proyectos para mejorar la calidad de vida del adulto mayor. Existe un antecedente de estudio de los indicadores del desempeño físico en ancianos que ha permitido la correcta caracterización de los mismos y la identificación de adultos mayores frágiles, así se prioriza su atención especializada en el Sistema Nacional de Salud. Dicho trabajo consiste en el estudio evolutivo del desempeño de los adultos mayores que asisten a Círculos de Abuelos del municipio Plaza de la Revolución. En particular se mide, entre otros aspectos, la marcha, para lo cual se registran datos de velocidad, amplitud del paso y cadencia [9]. La medición de estos parámetros se realiza por inspección visual, lo cual imprime un carácter subjetivo al procedimiento: imprecisiones en las mediciones, errores en el proceder, entre otros. Con vista a automatizar estos procesos, se vienen ejecutando algunos proyectos [9, 10] orientados a la obtención de sistemas experimentales Wearable Devices basados en sensores inerciales. Estos sistemas se basan en la transmisión continua de datos por lo que su consumo es alto y están limitados a períodos cortos de trabajo. Además, están sujetos al rango de movimiento de la conexión con una computadora.

La Universidad Tecnológica de La Habana de conjunto con el Centro de Neurociencias de Cuba trabaja en proyectos de investigación orientados a resolver el problema. Consiste en la necesidad de un sistema electrónico para la medición de los parámetros biomecánicos de la marcha que pueda utilizarse sin conexión a la computadora y pueda monitorear y registrar datos durante períodos largos de tiempo. El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema electrónico Wearable Devices que permita registrar datos asociados a la marcha humana durante períodos de tiempo significativamente más largos y para su funcionamiento no necesite conexión a la computadora.

## 2. REQUISITOS DE DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL SISTEMA

En el diseño del sistema se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Dispositivo electrónico capaz de muestrear de forma fiable a una frecuencia máxima de 1 kHz, cumpliendo con los requisitos de los algoritmos de análisis. Esta frecuencia permite un periodo de muestreo adecuado para el acelerómetro, el magnetómetro y el giroscopio, asegurando la máxima precisión en la determinación de los parámetros de la marcha.
- Transmisión y visualización de datos en tiempo real.
- Almacenamiento de los datos en tarjeta SD.
- Diseño de interfaz sencillo, capaz de establecer la frecuencia de trabajo del sistema y controlar el proceso de adquisición de datos, así como el modo de trabajo.
- Dispositivo electrónico portátil y ligero.
- Implementación de métodos para mejorar el consumo energético.

El sistema contará con dos elementos fundamentales: un dispositivo electrónico para la adquisición de muestras y una aplicación de escritorio. Con estos elementos es garantizado el control del modo de trabajo del sistema, ya sea con almacenamiento en SD o transmisión Bluetooth, así como la visualización y el procesamiento de los datos obtenidos. Ambas partes se comunicarán mediante Bluetooth sin necesidad de utilizar un módulo aparte, ya que el microcontrolador utilizado dispone de un adaptador.

### PROPUESTA DE DISPOSITIVO

El dispositivo propuesto utiliza un Sensor de Medición Inercial que combina un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes, un magnetómetro de 3 ejes junto con un procesador integrado que permite obtener datos precisos de movimiento, orientación y posición. El ESP-32 controla la frecuencia de muestreo y rangos de medición de los sensores. Además, determina el Inicio/Parada de las mediciones y el intercambio entre los modos Comunicación Bluetooth y Almacenamiento en Memoria SD (Ver Fig. 1).

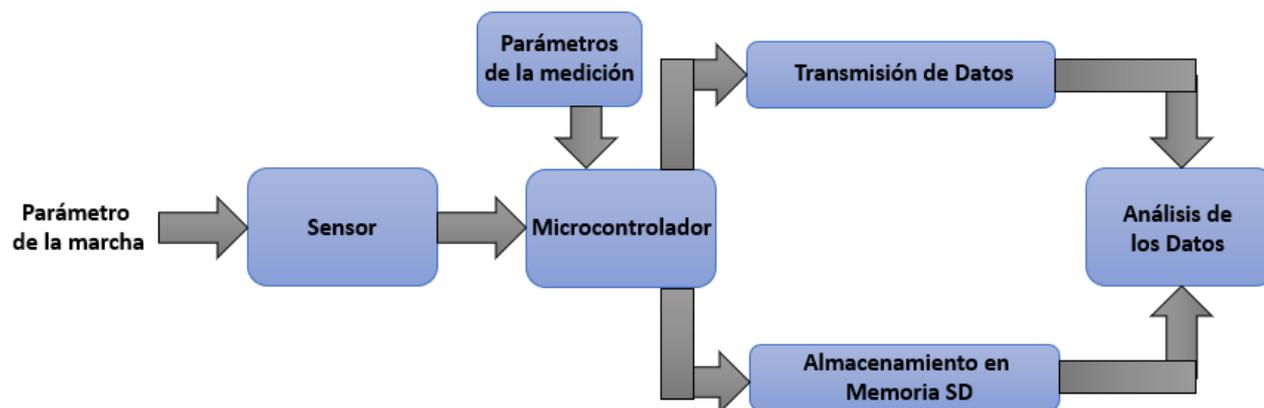


Figura 1: Funcionamiento del equipo.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El esquema eléctrico del dispositivo de medición de parámetros biomecánicos de la marcha está constituido por los siguientes módulos (Ver Fig. 2).

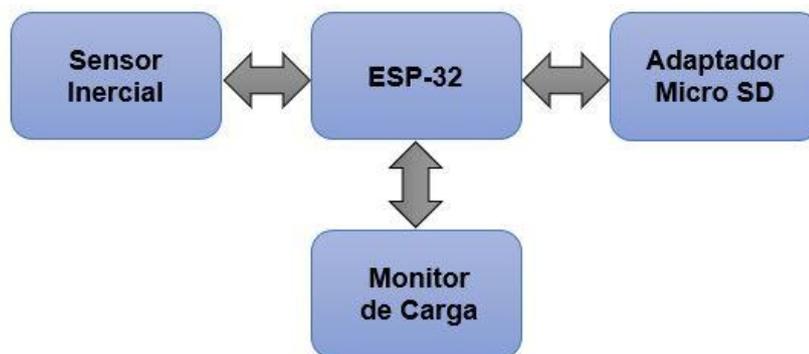


Figura 2: Principales módulos.

### ICM-20948

El ICM-20948 es un sensor inercial de 9 ejes, que combina un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes y un magnetómetro de 3 ejes, junto con un procesador integrado que permite obtener datos precisos de movimiento, orientación y posición en un dispositivo compacto. Puede entregar 9 grados de libertad para una captura precisa de movimiento rápido y lento, con una frecuencia de muestreo máxima de 1 kHz [11]. La selección del ICM-20948 como sensor inercial se basa en su alta precisión e integración de componentes. A diferencia del BMI160, que solo ofrece 6 grados de libertad (sin magnetómetro), el ICM-20948 incluye un magnetómetro integrado, proporcionando mediciones completas en 9 ejes. Además, su procesador interno para fusión de datos simplifica el diseño del sistema [11] [12]. El MPU-9250 aunque con características similares requiere procesamiento externo, esta característica hace que el ICM-20948 sea más eficiente en aplicaciones que requieren un procesamiento rápido y autónomo de datos inerciales [11] [13].

### ESP32 DFR0654

El módulo DFRobot FireBeetle ESP32 DFR0654 es un microcontrolador compacto de la familia de chips SoC de bajo costo y consumo de energía. Combinado con funciones adicionales como tecnología WiFi y Bluetooth de modo dual integrada. Incluye amplificador receptor de bajo ruido, filtros y módulos de administración de energía. Diseñado para dispositivos móviles; tanto en las aplicaciones de electrónica y las de IoT (Internet de las cosas). ESP32 logra un consumo de energía ultra bajo a través de funciones de ahorro de energía [14]. El ESP-32 en este proyecto realiza la función de controlar la frecuencia de muestreo y rangos de medición de sensores. Además, determina el Inicio/Parada de las mediciones e intercambia entre los modos de trabajo con Comunicación Bluetooth o Almacenamiento en Memoria SD. En comparación con otros microcontroladores, el módulo utilizado es la opción más viable para este tipo de aplicaciones. Arduino Uno tiene un procesador de un solo núcleo, carece de conectividad inalámbrica integrada y tiene menos memoria, lo que limita su uso en aplicaciones complejas, a diferencia del ESP32, que ofrece un procesador dual-core, WiFi y Bluetooth integrados, y mayor capacidad de memoria. El STM32 requiere módulos adicionales para conectividad inalámbrica, lo que aumenta el costo y la complejidad del diseño, mientras que el ESP32 incluye WiFi y Bluetooth de forma nativa, simplificando el desarrollo. El Raspberry Pi Pico carece de conectividad inalámbrica integrada y tiene menos memoria, lo que limita su uso en aplicaciones IoT avanzadas, en contraste con el ESP32, que ofrece ambas tecnologías y mayor capacidad de procesamiento. El nRF52, aunque eficiente en Bluetooth Low Energy (BLE), también posee menor capacidad de procesamiento, limitante que lo hace menos apropiado para sistemas de monitoreo avanzado o procesamiento en tiempo real. [15]

### LTC2942

Para el monitor de carga se utilizó el LTC2942-1, el cual calcula los amperios hora consumidos, mide el estado de carga y voltaje de la batería y la temperatura del chip. Este se utiliza en aplicaciones que requieren monitorización y medición precisas de energía y batería. Este dispositivo cuenta con umbrales altos y bajos para estas tres cantidades, los cuales son programables y de esta forma si uno de estos umbrales programado es superado se genera una alerta que lo indica [16]. El LTC2942 requiere de dos capacitores para su correcto funcionamiento: un capacitor de desacoplamiento de 0.1  $\mu\text{F}$ , que se coloca entre los pines de alimentación (VCC y GND) para filtrar ruido y asegurar un voltaje estable, y un capacitor de filtro de 10  $\mu\text{F}$ , que se conecta al pin SENSE para suavizar las mediciones de corriente y mejorar la precisión en la monitorización de la batería.

## Adaptador micro SD

En el caso de este circuito se realizó un diseño específico de un PCB, buscando un menor tamaño a la mayoría de los módulos disponibles en el mercado, así como la alimentación. Lo que se requiere son 3.3 V para el funcionamiento de la memoria SD, sin la necesidad de alimentar con 5 V para su posterior regulación. Este circuito tiene la función de permitir la conexión entre el ESP-32 y una tarjeta SD mediante el protocolo SPI. El uso de SPI en lugar de otro protocolo como SDIO se debe a que SPI es más sencillo de implementar y es compatible con una amplia gama de módulos y sensores. Aunque SDIO ofrece mayor velocidad de transferencia, SPI es suficiente para la mayoría de aplicaciones IoT, donde la prioridad es la facilidad de integración y el bajo consumo energético, no la velocidad máxima. No se selecciona I2C porque su principal ventaja es ahorrar pines cuando se tienen varios módulos conectados en un bus compartido, lo cual no es relevante en este caso [17].

Se utilizó el conector de tarjetas Micro SD DM3AT-SF-PEJM5 por su estructura rígida y resistente, con 4 puntos de contacto con la PCB para garantizar una conexión segura del circuito de tierra y brindar protección EMI. Además de su pequeño tamaño y alta confiabilidad, incluye push-push con mecanismo de expulsión para facilitar la extracción de la tarjeta SD [18]. El circuito también cuenta con resistencias y capacitores para permitir su funcionamiento. Se diseñaron los PCB en Altium Designer y se fabricaron con una máquina de fresado CNC de alta precisión. Para el ensamblaje, se utilizó una estación de soldadura por aire caliente con control de temperatura estable, asegurando la correcta adhesión de componentes. Se verificaron las interconexiones con multímetro y microscopio, garantizando continuidad eléctrica y ausencia de defectos. Estos elementos se encuentran conectados conformando el circuito interno del dispositivo (Ver Fig. 3).

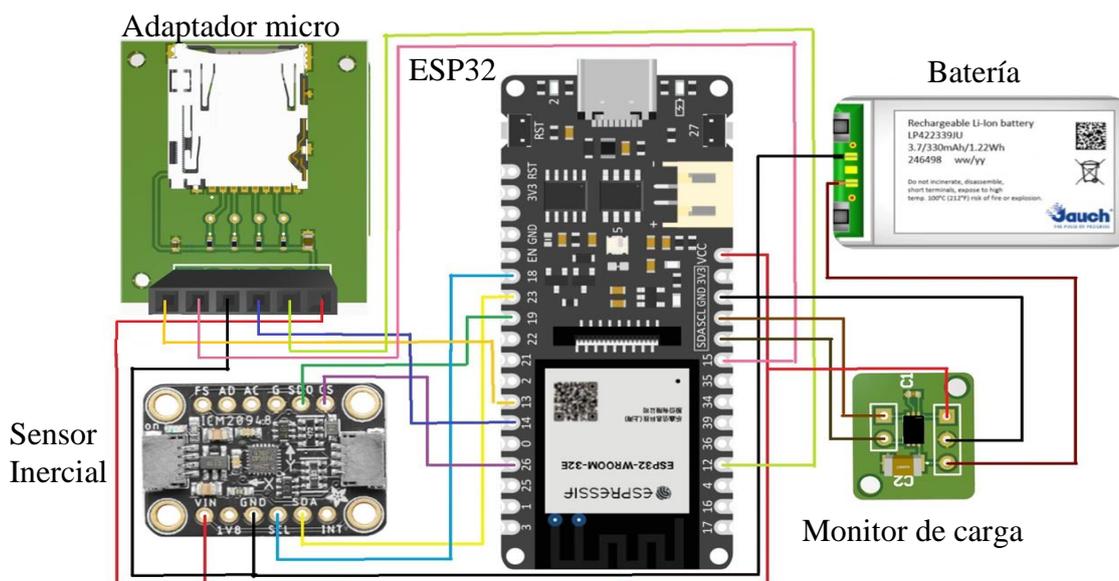


Figura 3: Esquema eléctrico.

## CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

La propuesta desarrollada del dispositivo WearableDevice para la medición de parámetros biomecánicos de la marcha presenta características comunes con avances obtenidos en antecedentes [10], pero incorporando nuevas funciones:

- Disponibilidad de Dato: Esta propuesta continúa con la función de Transmisión Bluetooth, pero incorpora también la posibilidad de almacenar los datos en una tarjeta SD, permitiendo tomar muestras de forma independiente para ser analizadas posteriormente.
- Gestión Energía: El dispositivo cuenta con reserva de batería, la cual es monitoreada utilizando un LTC2942 para calcular los amperios/hora consumidos. El LTC2942 está comprendido en uno de los circuitos impresos incorporados. Además, se incorporaron indicadores led del estado de carga de la batería.

- Encendido/Apagado: Se añade un botón con la función de activar o desactivar el modo deep-sleep. Este modo sueño del ESP-32 permite consumos bajos de energía, lo que permite no tener que desenergizar por completo el dispositivo.
- Aditamentos: Se logró el diseño de una carcasa atractiva, dándole al dispositivo una mejor apariencia virtual. Además de nuevas formas de sujeción que permitan satisfacer las necesidades de los usuarios en su uso práctico.

## PROGRAMACIÓN Y SOFTWARE

Se han desarrollado dos softwares, uno para Computadora y el otro para Teléfonos Móviles, con el objetivo de controlar y establecer los parámetros de inicio del dispositivo Wearable Device. Ambos softwares se comunican con el dispositivo mediante Bluetooth y presentan una interfaz gráfica sencilla para el usuario. Dentro de las funcionalidades que presentan los softwares se encuentran:

- Selección del modo de trabajo entre guardar en memoria SD datos y/o transmitir los mismos por Bluetooth.
- Establecer los parámetros de inicio como la frecuencia de muestreo.
- Los rangos del acelerómetro y el giroscopio.
- Control del inicio y la parada del funcionamiento del dispositivo.

El software para Computadora se desarrolló en Python con el uso de la librería PyQt5 para su diseño gráfico. Éste en particular permite graficar los parámetros de aceleración, grado de orientación o campo magnético recibidos en tiempo real y también realiza un guardado de los mismos en un documento con formato CSV para su posterior análisis y procesamiento (Ver Fig. 4).

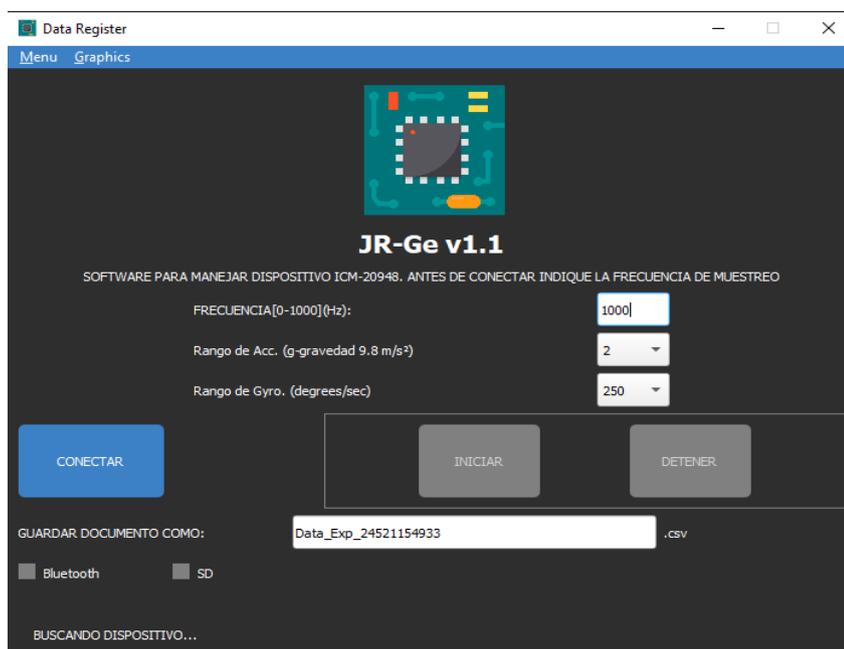


Figura 4: Ventana del interfaz de usuario de las PC.

La ventana del interfaz de usuario para Teléfonos Móviles con Android se programó en AppInventor, el cual utiliza un lenguaje de programación en bloques que lo hace intuitivo y fácil de programar. Este software presenta las funcionalidades básicas para el control del dispositivo, volviéndose más fácil de operar y brinda mayor portabilidad al encontrarse en un Teléfono Móvil (Ver Fig. 5).

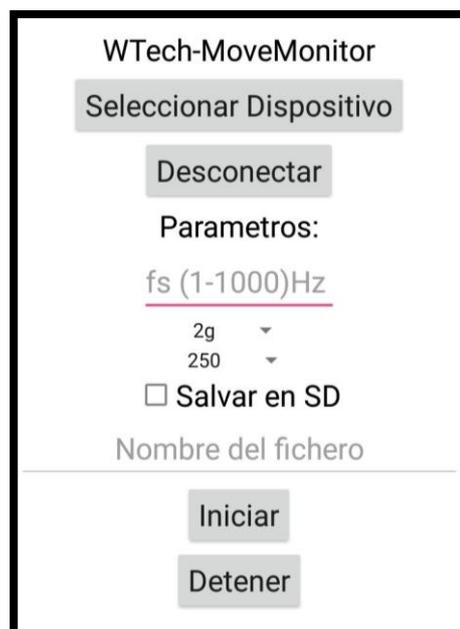


Figura 5: Ventana del interfaz de usuario móvil.

El dispositivo Wearable Device presenta un microcontrolador ESP32 el cual fue programado con el IDE PlatformIO de Microsoft Visual Studio Code en la plataforma Arduino usando el lenguaje de programación C/C++.

### 3. RESULTADOS

Para la adquisición de la señal, la transferencia y almacenamiento de los datos, ya se encuentra desarrollado un prototipo del dispositivo. Este posee un sensor inercial fijado a la superficie inferior, buscando mayor precisión de las muestras y protegiéndolo de perturbaciones que puedan provocarse al caminar. El dispositivo integra todos los módulos en un diseño compacto de una sola pieza, eliminando la necesidad de cables externos gracias al respaldo de energía por batería en su interior y a la transferencia de los datos mediante Bluetooth o su almacenamiento en tarjeta SD (Ver Fig. 6).



Figura 6: Prototipo del dispositivo.

El sensor se encuentra calibrado según los parámetros de orientación y posición. Esto se hace generalmente al mantener el giroscopio quieto y reduciendo a cero todas las lecturas en el código, necesarias para el correcto funcionamiento del dispositivo. Este se ubica en la zona del empeine o el tobillo para que el movimiento sea detectado de manera eficaz (Ver Fig. 7).



Figura 7: Uso del dispositivo.

Para validar el funcionamiento del dispositivo, se realizaron pruebas en las que se tomaron muestras de movimiento en diferentes direcciones. La primera prueba fue realizar movimientos en los tres ejes comprobando que los datos de aceleración obtenidos coincidieran con los movimientos realizados (Ver Fig. 8).

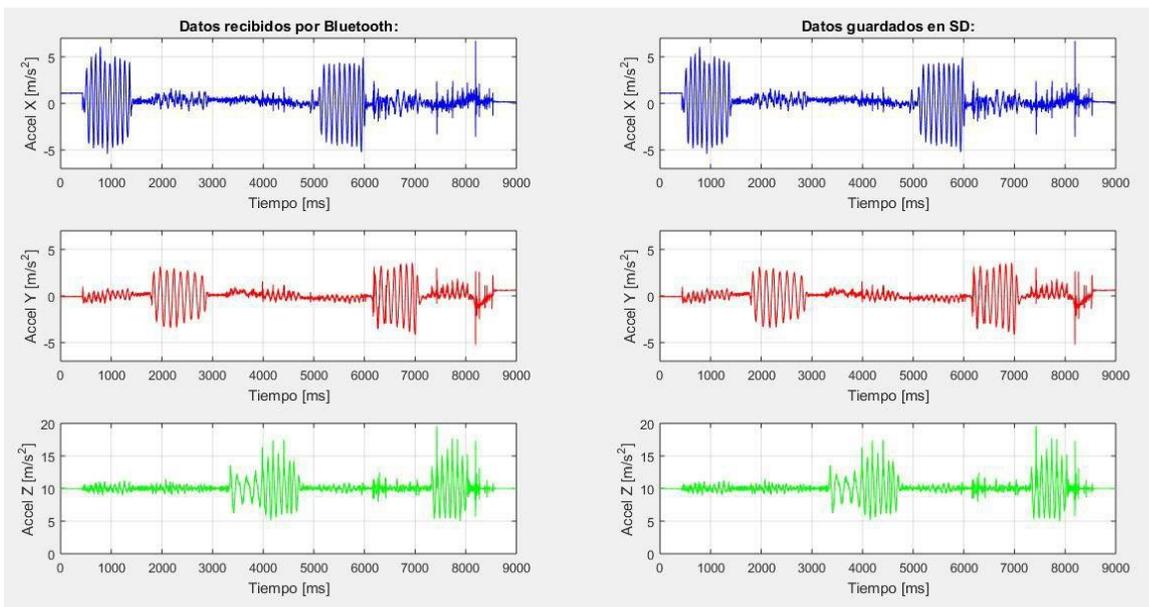


Figura 8: Gráficas de aceleración de las muestras almacenadas en SD y transmitidas por Bluetooth.

Estas muestras fueron almacenadas en una memoria SD y transmitidas por Bluetooth. Para verificar que los datos obtenidos coincidieran, se utilizó un programa que realizó una comparación de los datos de una misma medición mediante ambos modos de trabajo de forma simultánea, comprobándose que ambos correspondían. Para probar que no existe pérdida de datos a la frecuencia de trabajo de 1 kHz, se realizó una prueba consistente en la transmisión de una cantidad conocida de datos para cada uno de los gráficos durante 10 segundos. Una vez transcurridos los 10 segundos, se detuvo la medición. El resultado de multiplicar la frecuencia utilizada por los 10 segundos de duración del experimento proporcionó la cantidad de muestras esperadas, la cual se comparó con la cantidad real. De esta manera, se pudo comprobar que no hubo pérdida de datos.

## 4. CONCLUSIONES

Partiendo de los antecedentes existentes se desarrolló un dispositivo electrónico Wearable Device basado en un sensor inercial (ICM-20948) y un microcontrolador ESP32, que mide parámetros biomecánicos de la marcha. El dispositivo funciona en dos modos: transmisión por Bluetooth y almacenamiento en tarjeta SD. El dispositivo es capaz de muestrear datos a una frecuencia de 1 kHz sin pérdida de información, es portátil, ligero y de bajo consumo energético, gracias a la implementación del modo deep-sleep del ESP32. Cuenta con un sistema de gestión de energía para el monitoreo de la batería sin necesidad de conexión constante a una computadora. Se desarrollaron interfaces de usuario para computadora y móviles que permiten controlar el dispositivo, configurar los parámetros de medición y visualizar los datos en tiempo real. Este proyecto representa una alternativa nacional que sustituye la necesidad de importaciones, contribuyendo a la soberanía tecnológica en el campo de los dispositivos médicos y de análisis de movimiento

## RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por OGFPI, proyecto con referencia PN305LH013-066.

## REFERENCIAS

- [1] A. Manzanarez de la Cruz, «Efecto de la implementación de programas de gerontología comunitaria sobre el envejecimiento saludable o activo en adultos mayores en México: Revisión sistemática y meta-análisis», Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2023/junio/0842340/Index.html>.
- [2] Pan American Health Organization, «Demographic Outlook for Population Aging in the Region of the Americas», PAHO, Washington, D.C., Technical reports 978-92-75-12679-0 (PDF), 2023. doi: [10.37774/9789275126790](https://doi.org/10.37774/9789275126790).
- [3] E. Galindo Reyes, «Marcha y equilibrio del adulto mayor y su estilo de vida», Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/16034>.
- [4] S. A. Yáñez Arias, «Estudio comparativo de sistemas de análisis de marcha basados en sensores inerciales y cámaras infrarrojas», Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.udec.cl/handle/11594/359>.
- [5] D. A. Fernández, C. F. Rengifo, y P. E. Caicedo, «Exploring human gait dynamics: A review of image capture device-based analysis systems», Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 18, n.o 35, pp. 67-74, 2024.
- [6] C. E. Suárez Collaguazo, «Implementación de dos plantillas basadas en sensores de presión para detección de problemas en marcha humana», Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28772>.
- [7] D. S. García Vicencio, «Sistema de seguimiento de movimiento de las extremidades superiores basado en sensores inerciales para rehabilitación en realidad virtual», Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000799697](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000799697).
- [8] «El Envejecimiento de la Población. Cuba y sus territorios-2022», Infomed Santiago. Accedido: 4 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.infomed.scu.sld.cu/el-envejecimiento-de-la-poblacion-cuba-y-sus-territorios-2022/>.
- [9] J. Menéndez Álvarez, G. A. Castellanos, F. E. Hernández Montero, J. R. Rodríguez Suárez, y A. Pérez Molinet, «Sistema electrónico experimental para la medición de variables de parámetros de marcha en ancianos», Revista de Ciencia y Tecnología, n.º 33, pp. 1-10, 2020.
- [10] A. A. Salgado, F. E. Hernández Montero, y G. A. Castellanos, «Electronic device for gait analysis», Revista de Ciencia y Tecnología, n.º 38, pp. 11-20, 2022, doi: [10.36995/j.recyt.2022.38.002](https://doi.org/10.36995/j.recyt.2022.38.002).

- [11] «Adafruit TDK InvenSense ICM-20948 9-DoF IMU (MPU-9250 Upgrade) [STEMMA QT / Qwiic]: ID 4554 : Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits». [En línea]. Disponible en: <https://www.adafruit.com/product/4554>.
- [12] «BMI160 Bosch Sensortec | Mouser», Mouser Electronics. Accedido: 14 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en [https://www.mouser.es/datasheet/2/783/BST\\_BMI160\\_DS000-1509569.pdf](https://www.mouser.es/datasheet/2/783/BST_BMI160_DS000-1509569.pdf).
- [13] alldatasheet.es, «MPU-9250 Datasheet(PDF)». Accedido: 21 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/1132035/TDK/MPU-9250.html>.
- [14] «FireBeetle ESP32-E IoT Microcontroller». Mouser, 11 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.mouser.com/pdfDocs/Product\\_Overview-DFRobotDFR0654FireBeetleESP32-EIoTMicrocontroller2.pdf](https://www.mouser.com/pdfDocs/Product_Overview-DFRobotDFR0654FireBeetleESP32-EIoTMicrocontroller2.pdf).
- [15] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," Sensors, vol. 23, no. 15, p. 6739, Jul. 2023. doi: 10.3390/s23156739.
- [16] J. Chen and S. Huang, "Analysis and Comparison of UART, SPI and I2C," in *2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)*, 2023, pp. 272-276. doi: 10.1109/EEBDA56825.2023.10090677.
- [17] «LTC2942-1 29421f Typical Application Description 1A Battery Gas Gauge with Internal Sense Resistor and Temperature/Voltage Measurement». Mouser. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.com/datasheet/2/609/29421f-1270348.pdf>.
- [18] «DM3AT-SF-PEJM5 Hirose Connector | Mouser México». [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Hirose-Connector/DM3AT-SF-PEJM5?qs=LZSZKJVF%252B2WTDKp%252BR7IYAQ%3D%3D>.

## SOBRE LOS AUTORES

**Samuel Casanova Calzadilla** Estudiante en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica e Investigador, Grupo de Aplicaciones de Procesamiento de Señales. Categoría ocupacional estudiante. Centro de trabajo Cujae, MES. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0446-5574>

**Osniel Alejandro García Orihuela** Estudiante en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica e Investigador, Grupo de Aplicaciones de Procesamiento de Señales. Categoría ocupacional estudiante. Centro de trabajo Cujae, MES. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7509-6081>

**Elías Osmany García Alvaredo** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Categoría ocupacional Profesor Adiestrado Universitario e Investigador, Grupo de Aplicaciones de Procesamiento de Señales. Centro de trabajo Cujae, MES. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4132-4175>

**Mario Bernal Pérez** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Categoría ocupacional Profesor Adiestrado Universitario e Investigador, Grupo de Aplicaciones de Procesamiento de Señales. Centro de trabajo Cujae, MES. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5757-4730>

**Gianna Arencibia Castellanos** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6538-6707>

**Fidel Ernesto Hernández Montero** Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Categoría ocupacional Profesor Titular Universitario. Categoría Científica Dr. C. Investigador, Grupo de Aplicaciones de Procesamiento de Señales. Centro de trabajo Cujae, MES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5003-2807>

## CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses de los autores, ni de las instituciones en relación al contenido del artículo aquí reflejado.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Autor 1:** Diseño y desarrollo del dispositivo electrónico. Programación del microcontrolador. Preparación, creación y desarrollo del artículo.

- **Autor 2:** Programación del microcontrolador, el software de la computadora y el software del dispositivo móvil.
- **Autor 3:** Programación del microcontrolador.
- **Autor 4:** Programación del software de la computadora.
- **Autor 5:** Conceptualización y contribución a la idea del artículo.
- **Autor 6:** Contribución a la idea y organización del artículo, revisión crítica de cada una de las versiones del artículo y aprobación de la versión final a publicar.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

