



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

WEARPOSTURE: DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO WEARABLE PARA MEJORAR Y
PROTEGER LA POSTURA HUMANA MEDIANTE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA Y
SENSORES ERGONÓMICOS

TESIS

PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE: LICENCIATURA INGENIERÍA EN

CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

RAFAEL RICARDO PÉREZ CAMACHO

201864793

ASESOR: DR. MARIANO LARIOS GÓMEZ

PUEBLA, PUE. NOVIEMBRE 2024



Dedicatoria:

A mi familia que me ha apoyado incondicionalmente y siempre ha estado ahí para mí, mis amigos que a lo largo de la carrera se han tomado el tiempo para escucharme y apoyarme sin pedir nada a cambio y en especial a mis padres sin los cuales no hubiera podido ser nada de lo que yo soy.

Agradecimientos:

Agradezco a todas las personas que recorrieron mi formación profesional a mis maestros, amigos, familia y sobre todo a mis padres ya que este logro no hubiera sido posible sin su apoyo incondicional, ha sido un camino largo y difícil, pero siempre con la guía y enseñanzas de mis padres he podido salir adelante.

Quiero destacar el agradecimiento a mi director de tesis el Dr. MARIANO LARIOS GÓMEZ. Así también, a los miembros que participaron como jurados en mi examen profesional. a todos mil gracias.

ÍNDICE

Contenido

| | |
|---|----|
| Capítulo 1. Introducción | 5 |
| 1.1 Impacto socioeconómico | 6 |
| 1.2 Aportaciones | 7 |
| 1.3 Antecedentes del Proyecto..... | 8 |
| 1.4 Objetivos Generales y Específicos del Proyecto..... | 9 |
| 1.5 Metodología..... | 10 |
| 1.6 Infraestructura | 11 |
| Capítulo 2. Estado del Campo o del Arte..... | 15 |
| 2.1 Wearables | 15 |
| 2.2 ESP32 | 20 |
| 2.3 Galgas extensiométricas..... | 21 |
| 2.4 MPU6050 | 22 |
| Capítulo 3. Diseño del wearable | 24 |
| 3.1 Prototipo 1 | 25 |
| 3.2 Prototipo 2 | 31 |
| 3.3 Prototipo 3 | 40 |
| Capítulo 4. Implementación de un wearable..... | 44 |
| Capítulo 5. Pruebas y resultados | 58 |
| Conclusiones | 71 |
| Bibliografía y referencias | 74 |

Capítulo 1. Introducción

Se ha creado un dispositivo portátil que utiliza tecnología electrónica para ayudar a las personas a mantener una postura correcta. Este wearable está diseñado para prevenir y aliviar problemas comunes relacionados con una mala postura, como el dolor de espalda y las deformidades espinales.

La propuesta se fundamenta en los principios de las ciencias de la postura, reconociendo la necesidad de soluciones innovadoras para abordar esta problemática.

A través de sensores especializados, se monitorea la postura, generando datos valiosos.

Se diseñó un artefacto ergonómico provisto de sensores para evaluar la postura. La información recopilada permitió analizar la alineación corporal y la posición de la columna vertebral. Este estudio tuvo como fin principal fomentar hábitos saludables relacionados con la postura para optimizar la calidad de vida.

Este dispositivo, diseñado para corregir y prevenir malas posturas, ha mejorado notablemente la calidad de vida de muchas personas.

En estrecha colaboración con el fisioterapeuta Rubén Alejandro Medina Larios, se desarrolló este dispositivo. Su amplia experiencia en salud postural fue fundamental para garantizar que el diseño fuera ergonómico y contribuyera a mejorar la postura y prevenir problemas de espalda. Gracias a su guía, se logró un producto no solo

funcional, sino también seguro y adaptado a las necesidades específicas de los usuarios.

1.1 Impacto socioeconómico

La implementación de este proyecto en el ámbito de la salud ha generado un impacto social relevante en la promoción de hábitos saludables a través de la educación. Asimismo, se ha evidenciado un impacto económico significativo en el sector de la fisioterapia, gracias a la integración de tecnologías portátiles o vestibles (MacKenzie, 2024). Esta última, conocida como cómputo ubicuo, ha demostrado ser una herramienta valiosa en la rehabilitación.

- **Mejora de la salud y el bienestar:** Al fomentar posturas corporales correctas y prevenir dolencias musculoesqueléticas asociadas a una mala postura, esta iniciativa contribuyó a elevar el nivel de salud y bienestar general de la población. Estudios recientes respaldan la importancia de la ergonomía en el entorno laboral para reducir la incidencia de estas afecciones (del Castillo, et al, 2024).
- **Promoción de la autonomía y el autocuidado:** Al equipar a los individuos con recursos para optimizar y preservar su alineación postural de forma independiente, la iniciativa fomentó la autonomía en el cuidado personal y la conciencia de la salud individual. Este enfoque incentivó a las personas a adoptar medidas proactivas para su bienestar físico y a disminuir su dependencia en los servicios de salud (Idrees, et al, 2024)."

- **Generación de empleo y crecimiento económico:** Canali, et al, (2024) señala que la innovación en dispositivos vestibles ha estimulado la creación de empleo en áreas como la ingeniería biomédica, la informática médica, la fabricación de equipos médicos y la comercialización de productos sanitarios.

1.2 Aportaciones

Los hallazgos de esta investigación han tenido un impacto considerable en el desarrollo de diversas áreas científicas, especialmente en la medicina y la informática. Los avances alcanzados en el ámbito de la informática médica y en el diseño de algoritmos han abierto nuevas posibilidades. Algunas de las aportaciones más notables incluyen:

- **Informática Médica:** El proyecto involucró el diseño y desarrollo de algoritmos sofisticados para procesar grandes volúmenes de datos biomédicos, así como la creación de sistemas de retroalimentación en tiempo real. Esta labor requirió una sólida base en informática médica y técnicas avanzadas de análisis de datos. Los resultados obtenidos contribuyen al campo de la salud digital, al permitir una monitorización más precisa de variables fisiológicas, como la postura, mediante el uso de dispositivos vestibles. Esta investigación se alinea con las tendencias actuales en telemedicina y cuidado personalizado, donde la integración de tecnologías de la información y la comunicación juega un papel fundamental (Don't Walk, et al, 2024; Yalli, Hasan, y Badawi, 2024).

- **Desarrollo de algoritmos de procesamiento de datos:** El proyecto implicó el desarrollo de algoritmos personalizados para decodificar los datos recopilados por los sensores integrados en el dispositivo wearable. Estos modelos computacionales fueron diseñados para procesar de manera ágil la información postural y brindar retroalimentación instantánea. La optimización de estos algoritmos constituye un avance significativo en el ámbito de la inteligencia artificial aplicada a la salud, ya que facilita una interpretación más precisa de los datos biomédicos para la prevención de trastornos posturales.

1.3 Antecedentes del Proyecto.

La postura corporal inadecuada y la escasa conciencia postural son desafíos comunes que impactan negativamente la salud y la calidad de vida de las personas. Este problema se ha acentuado en la era moderna, caracterizada por estilos de vida sedentarios y el uso intensivo de dispositivos tecnológicos, factores que favorecen la adopción de posturas incorrectas (del Castillo, et al, 2024). Ante este panorama, la aplicación de tecnologías vanguardistas en el campo de la electrónica ha surgido como una alternativa prometedora para fomentar posturas saludables y prevenir trastornos musculoesqueléticos asociados a posturas inadecuadas.

Idrees, et al, (2024) destaca cómo los estilos de vida modernos han contribuido al aumento de problemas posturales. En línea con estas observaciones, el proyecto buscó desarrollar una solución tecnológica portátil para abordar esta problemática. La propuesta se basó en la premisa de que un dispositivo vestible podría fomentar

hábitos posturales saludables, mejorando así la calidad de vida y reduciendo el riesgo de desarrollar problemas de salud relacionados con la postura. Promover el bienestar general y reducir la incidencia de problemas de salud relacionados con la postura, se definen como:

- La mejora de la calidad de vida mediante la promoción de una postura adecuada.
- Prevenir lesiones y afecciones musculoesqueléticas.
- Fomentar la salud preventiva.
- Empoderar a las personas para el autocuidado.
- Impulsar la innovación tecnológica mediante dispositivos vestibles para mejorar la postura.

1.4 Objetivos Generales y Específicos del Proyecto.

Objetivo General:

- Desarrollar un dispositivo portátil que asistirá al usuario en el mantenimiento de una postura correcta. A través de la implementación de tecnologías electrónicas avanzadas, este dispositivo ofrecerá una solución innovadora para prevenir problemas de espalda, cuello y hombros, comunes en nuestra sociedad moderna.

Objetivos Específicos:

- Crear un dispositivo portátil, cómodo y adaptable a diversas actividades diarias que se integre de manera natural a la vida de las personas.
- Implementar sensores y sistemas de rastreo del movimiento corporal para evaluar con exactitud la postura del individuo.
- Incorporar herramientas de detección y retroalimentación para ajustar las posturas inadecuadas y promover una alineación postural saludable.
- Mejorar la salud y el confort de los usuarios mediante la prevención de trastornos musculoesqueléticos asociados a la postura y la promoción de prácticas posturales correctas a largo plazo.

1.5 Metodología.

Para abordar el desafío de la mala postura, este proyecto adoptó un enfoque interdisciplinario que fusionó conocimientos de ingeniería y medicina, una tendencia creciente en el diseño de dispositivos portátiles y sistemas biomédicos (Sica, et al, 2024). La investigación científica más reciente en ambos campos sirvió como guía para el desarrollo de esta tecnología, cuyo objetivo principal es mejorar la calidad de vida de las personas a través de soluciones tecnológicas (Salehzadeh Niksirat, et al, 2024). Este enfoque multidisciplinario permitió integrar principios de ambas áreas para crear una solución innovadora y efectiva.

Los pasos clave en la metodología fueron los siguientes:

Planteamiento del problema: Tras una revisión profunda de la literatura, se identificó que las posturas incorrectas están estrechamente vinculadas a diversas dolencias musculoesqueléticas y pueden tener consecuencias a largo plazo en la salud general (Kang, et al, 2024). Estos hallazgos sirvieron como base para desarrollar una hipótesis sólida que guiara la investigación.

- **Formulación de una hipótesis:** A partir de una exploración detallada de la literatura científica sobre dispositivos portátiles y biomecánica, se planteó la hipótesis de que estos dispositivos podrían ofrecer una intervención efectiva para corregir desalineamientos posturales. Estudios previos, como el de Azizan, Ahmed y Razak, (2024), apuntan a esta posibilidad.
- **Diseño y desarrollo:** Con el objetivo de evaluar la viabilidad de la hipótesis planteada, se diseñó un dispositivo y su software complementario. Un prototipo funcional fue creado para simular las condiciones de uso y recopilar datos iniciales, siguiendo un enfoque similar al utilizado en trabajos previos (Kim, et al., 2024).
- **Análisis de resultados:** Una vez concluidas las pruebas con el prototipo, se procedió a un minucioso examen de los datos recopilados. Este análisis detallado permitió detectar áreas de oportunidad para perfeccionar tanto la estructura del dispositivo como su desempeño, con el fin de maximizar su eficacia en iteraciones posteriores.

1.6 Infraestructura

La ejecución del proyecto se basó en una amplia gama de materiales y herramientas que resultaron esenciales para completar las tareas establecidas.

- *Equipo de cómputo: Se requirió un equipo informático capaz de ejecutar eficientemente software de programación y aplicaciones ofimáticas, dada la intensidad de su uso durante el desarrollo del proyecto.*
- *Software: Para asegurar la flexibilidad y accesibilidad del proyecto a largo plazo, se emplearon programas de código abierto. Estas herramientas permitieron una mayor facilidad de uso y personalización, facilitando así su adaptación a posibles cambios o requerimientos futuros.*
- *Componentes físicos: se seleccionó una variedad de componentes, incluyendo placas de programación y cableado. Además, se incorporaron piezas personalizadas fabricadas mediante impresión 3D para optimizar el diseño y la funcionalidad del sistema.*

Al culminar con la fabricación del dispositivo se lograron obtener los siguientes puntos:

- *Documentación que sustentara el proyecto: Se elaboró una extensa documentación, sustentada en una exhaustiva revisión bibliográfica de artículos científicos, para fundamentar el diseño y desarrollo del dispositivo.*
- *Algoritmos de procesamiento de datos: Con el objetivo de optimizar la experiencia del usuario, se desarrolló un sistema de análisis de postura basado en algoritmos que procesan los datos provenientes de los sensores del dispositivo.*
- *Informes de pruebas y evaluaciones: Se documentaron en detalle los experimentos realizados en condiciones controladas, involucrando a*

usuarios reales, para medir la precisión, eficacia y satisfacción general del sistema.

- *Diseño final del dispositivo: El diseño final del dispositivo portátil, ya terminado, incluye una descripción detallada de los materiales seleccionados, las dimensiones exactas de cada componente y una especificación completa de sus características técnicas.*

Este proyecto, al implicar al sector salud, tuvo un impacto social grande y un impacto económico notable:

- *Mejora de la salud y el bienestar: Al fomentar hábitos posturales saludables y prevenir afecciones musculoesqueléticas causadas por posturas inadecuadas, el proyecto contribuyó a elevar el nivel de bienestar y salud de la población.*
- *Promoción de la autonomía y el autocuidado: Dotar a las personas de las habilidades necesarias para mejorar y mantener una buena postura de manera autónoma fue el objetivo principal del proyecto. Al fomentar la autogestión de la salud, se buscó reducir la dependencia de los sistemas de atención médica y promover estilos de vida más saludables. Los participantes adquirieron los conocimientos y herramientas indispensables para tomar el control de su bienestar físico.*
- *Generación de empleo y crecimiento económico: La introducción de un dispositivo wearable en el mercado pudo haber tenido un impacto positivo en la generación de empleo, especialmente en sectores como la ingeniería*

biomédica, la informática de la salud, la fabricación de dispositivos médicos y la comercialización de productos para el bienestar.

Esta investigación impulsó avances significativos en diversos campos científicos, destacando la medicina y la informática. Algunas de las aportaciones que se pudieron resaltar fueron:

- *Informática médica: El desarrollo de este proyecto exigió una sólida base en informática médica y análisis de datos para implementar algoritmos de procesamiento de información y sistemas de retroalimentación. Como resultado, se lograron avances en el diseño de herramientas computacionales capaces de analizar datos biomédicos, lo que permite monitorizar y optimizar la postura.*
- *Desarrollo de algoritmos de procesamiento de datos: A través de este proyecto, se diseñaron algoritmos personalizados para extraer información relevante de los datos sensoriales del dispositivo wearable. Una de las aplicaciones principales de estos algoritmos fue el estudio de las variaciones posturales.*

Capítulo 2. Estado del Campo o del Arte.

El estudio de la postura humana y su impacto en el sistema musculoesquelético ha sido un tema recurrente en la literatura científica. Gracias a los avances en campos como la biomecánica, la ergonomía y la ingeniería biomédica, hoy en día contamos con un conocimiento más sólido sobre los mecanismos por los cuales la postura influye en la salud del cuerpo y las estrategias para prevenir y tratar las afecciones asociadas a una mala postura.

2.1 Wearables

Según Mayol (2024), la digitalización ha permitido optimizar la gestión de la información sanitaria, facilitando procesos y mejorando la eficiencia. Las soluciones digitales en salud, que incluyen desde aplicaciones móviles hasta tecnologías disruptivas como la inteligencia artificial, ofrecen un gran potencial para transformar la atención médica.

Castillo, et al, (2024) destaca el creciente uso de las tecnologías wearables, dispositivos electrónicos que se incorporan a la vestimenta y ofrecen funcionalidades como la captura de imágenes, la visualización de información y la interacción con otros dispositivos. Las Google Glass, uno de los primeros ejemplos de esta tecnología, ilustra cómo estos dispositivos pueden enriquecer nuestra experiencia diaria al proporcionar acceso instantáneo a una variedad de servicios.

Cerón, et al (2024) destacan el papel fundamental de la salud digital en la construcción de un ecosistema tecnológico que sustenta los modelos de atención

sanitaria actuales. Este ecosistema engloba una amplia gama de herramientas digitales, desde la historia clínica electrónica hasta la inteligencia artificial, pasando por dispositivos móviles, realidad virtual y redes sociales.

El diseño de dispositivos vestibles, según Izu, Scholtz y Fashoro (2024), requiere una consideración integral. No solo deben cumplir con estándares técnicos y funcionales, sino que también deben optimizar la experiencia del usuario, considerando aspectos como la interacción, las sensaciones y las percepciones que genera el dispositivo.

Según Benancio Beteta, Romero Loreña y Solis Dueñas (2024), los dispositivos inteligentes, como los relojes inteligentes y los monitores de glucosa, nos ofrecen un flujo constante de datos de salud que pueden ser utilizados para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Estos dispositivos, cada vez más accesibles y variados, van desde los populares relojes inteligentes hasta opciones menos conocidas como los anillos inteligentes y las gafas inteligentes, ampliando las posibilidades de monitorización y cuidado personal.

El potencial de los wearables en el ámbito sanitario como una alternativa a los métodos tradicionales. La precisión de estos dispositivos es crucial, ya que los datos recopilados son utilizados para tomar decisiones clínicas. Lan, et al. (2024) subrayan la importancia del desarrollo de algoritmos avanzados para gestionar el gran volumen de datos generados por estos dispositivos y extraer información útil.

Como señala Navarrete (2024), la sanidad móvil se presenta como una herramienta innovadora para transformar la experiencia del paciente. Al facilitar el acceso a

servicios de salud, permitir un seguimiento más cercano de enfermedades crónicas y ofrecer opciones de atención remota, esta tecnología contribuye a una atención sanitaria más centrada en el paciente, más eficiente y de mayor calidad.

La telemedicina, sustentada en el uso de dispositivos móviles, está revolucionando la atención sanitaria. Desde la prevención hasta el tratamiento, estas tecnologías ofrecen nuevas vías para mejorar la accesibilidad y calidad de los servicios de salud. Rios (2024) sugiere que esta tendencia llevara a un modelo de atención más personalizada, donde los pacientes, guiados por aplicaciones y dispositivos inteligentes, asumirán un papel más activo en el cuidado de su salud.

Según Vida (2024), los últimos años han sido testigos de un impulso significativo en la consolidación de la medicina personalizada y de precisión, con el desarrollo de nuevas terapias y productos que permiten adaptar el diagnóstico y los tratamientos de manera individualizada.

En la era digital, los datos se han convertido en el nuevo petróleo de la salud, como lo señala Valez y Alcivar (2024). El auge de tecnologías como el Internet de las Cosas, la telemedicina y la big data ha generado una avalancha de información sobre nuestra salud. Esta vasta cantidad de datos nos permite comprender mejor los factores que influyen en nuestra salud y diseñar intervenciones más precisas y personalizadas.

Como se menciona en Carlos Andrés, (2024), La convergencia de la tecnología móvil y la salud ha dado lugar a una nueva generación de herramientas digitales que empoderan a los usuarios para gestionar su bienestar. Los smartphones,

equipados con sensores cada vez más sofisticados, se han convertido en auténticos asistentes de salud, capaces de recopilar una gran cantidad de datos biométricos. Esta información, combinada con algoritmos de inteligencia artificial, permite desarrollar aplicaciones personalizadas que ofrecen recomendaciones y alertas tempranas sobre posibles problemas de salud. Asimismo, los dispositivos wearables, como los relojes inteligentes y los sensores IoT, han ampliado las posibilidades de monitoreo continuo, generando grandes volúmenes de datos que pueden ser analizados para identificar patrones y tendencias.

La ubicuidad de los dispositivos wearables y su capacidad para recopilar datos en tiempo real están revolucionando la forma en que entendemos y abordamos la salud. Esta nueva era de la medicina, caracterizada por su enfoque personalizado y proactivo, se sustenta en cinco pilares fundamentales: personalización, precisión, prevención, predicción y participación. Como señala Vida (2024), el paciente, equipado con tecnología wearable, se convierte en un aliado activo en el cuidado de su salud, demandando un papel protagónico en las decisiones médicas.

Estas herramientas tecnológicas tienen el potencial de mejorar significativamente la calidad de vida de las personas, ya sea a través de programas de acondicionamiento físico personalizados o de un seguimiento más preciso de las enfermedades crónicas, tanto para pacientes como para médicos (Larrosa, 2024).

Del Mar (2024) destaca el papel de los dispositivos portátiles en la prevención primaria de enfermedades. Estos dispositivos, al integrarse en la vida diaria, pueden ayudar a identificar factores de riesgo y promover hábitos saludables, reduciendo así la probabilidad de adquirir ciertas patologías.

Campos (2024) señala que la integración de los wearables en la vida cotidiana y en los sistemas de salud representa un desafío significativo. Según el autor, satisfacer las necesidades de los usuarios y demostrar el valor de estos dispositivos son aspectos cruciales para su adopción exitosa.

La irrupción de la tecnología wearable ha suscitado un creciente interés en el ámbito de la salud, especialmente en lo que respecta a la prevención de lesiones musculoesqueléticas. Según Rivera (2024), estos dispositivos portátiles permiten un monitoreo continuo y detallado de diversos parámetros fisiológicos, como la actividad física y la postura, lo que abre nuevas vías para una intervención temprana y personalizada en la promoción de la salud.

El mercado de las aplicaciones móviles ha experimentado un crecimiento exponencial en el ámbito de la salud, especialmente en lo relacionado con la postura corporal. Plataformas como Google Play Store albergan una multitud de aplicaciones diseñadas para ayudar a las personas a mantener una postura correcta. Desde simples recordatorios hasta sistemas de análisis postural en tiempo real, estas herramientas digitales, como SmartPosture, PostureUp y Apecs (Sarmiento, 2024), ofrecen soluciones tanto para el usuario promedio como para profesionales de la salud, facilitando la evaluación y el tratamiento de problemas posturales.

Según Gaya, Manresa y Baudes, (2024), un sistema de monitoreo postural eficaz debe equilibrar la precisión tecnológica con la usabilidad. Es decir, la experiencia del usuario es un factor clave a considerar junto con la capacidad de rastrear la postura con exactitud.

Con el fin de abordar problemas posturales, se ha desarrollado STRAIGHTBACK, un dispositivo portátil que forma parte del campo de la m-Health. Equipado con sensores avanzados, este dispositivo recopila datos en tiempo real sobre la postura del usuario. A través de una aplicación móvil, estos datos son transmitidos a una base de datos para su análisis y almacenamiento. Esta aplicación no solo actúa como interfaz, sino que también proporciona herramientas de visualización y gestión de datos, permitiendo al usuario llevar un seguimiento detallado de su progreso (Stambor, 2024).

2.2 ESP32

Con el objetivo de optimizar el monitoreo de pacientes hipertensos, se desarrolló una aplicación móvil que emplea la tecnología ESP32. Esta solución permite la recopilación y el análisis en tiempo real de datos de presión arterial, proporcionando a los profesionales de la salud información crucial para la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas. Los hallazgos de Zagal, Estrada y Pedraza, (2024) subrayan la importancia de la tecnología en la gestión de enfermedades crónicas como la hipertensión.

La configuración de la placa de desarrollo ESP32 es crucial para establecer una conexión Wi-Fi y transmitir los datos de manera efectiva. En esta fase, obtendremos la clave de acceso de la API, un componente esencial para la comunicación. Este procedimiento se basa en las pautas descritas en el trabajo de Gil y Valverde, (2024).

En el estudio de Salgado y Tamayo, (2024), se demuestra cómo un ESP32, mediante la interfaz I2C, puede recopilar datos de sensores y enviarlos a Thingsboard para crear una interfaz visual intuitiva y accesible para el usuario final.

Ibáñez (2024) destaca las ventajas de los microcontroladores ESP32 en el ámbito de la salud, resaltando su doble núcleo, eficiencia en el procesamiento de datos y conectividad Wi-Fi. Estas características, junto con su bajo consumo energético y su amplia compatibilidad con sensores, hacen del ESP32 una plataforma idónea para el desarrollo de dispositivos de monitoreo médico, especialmente en entornos académicos donde la accesibilidad y facilidad de uso son factores clave.

La versatilidad del ESP32, combinada con su reducido tamaño de 52 x 27 x 10 mm, lo posiciona como una excelente alternativa para proyectos de dispositivos portátiles (Rana y Bhambri, 2024).

2.3 Galgas extensiométricas

Un sistema de monitoreo postural, desarrollado por Imbaquingo (2024), utiliza galgas extensiométricas estratégicamente colocadas en tres puntos específicos de la espalda. Estas galgas están conectadas a un dispositivo portátil mediante bandas elásticas de nylon ajustables. Cuando se detecta una postura incorrecta, el dispositivo envía una notificación al celular del usuario a través de Bluetooth.

El objetivo de esta galga extensiométrica es traducir los cinco grados de libertad del sistema real a una representación visual. Para obtener las lecturas de la galga, se implementará un circuito divisor de tensión. Este circuito será alimentado por la tensión de 3.3V proporcionada por la placa de desarrollo ESP-W32. La señal

analógica resultante del divisor será capturada por el convertidor analógico-digital integrado en el módulo ESP-W32, según Guillén (2022).

Una contribución original de este trabajo radica en el diseño de un sistema de monitoreo multisensorial, capaz de registrar simultáneamente la temperatura, la flexión y la presión en la muñeca. Los datos obtenidos se transmitirán de forma inalámbrica mediante Bluetooth, con el objetivo de desarrollar algoritmos de detección temprana del síndrome del túnel carpiano. Esta propuesta se alinea con las tendencias actuales en el campo de la telemedicina y se basa en investigaciones previas, como las realizadas por Núñez, (2024).

2.4 MPU6050

Para minimizar el impacto de interferencias externas, la interfaz del MPU6050 incluyó un filtro que permitió una calibración más precisa del sensor en los ejes X y Y. Esta calibración, realizada mediante el uso de un electrogoniómetro digital y un eje de referencia fijo, fue esencial para asegurar la calidad de los datos obtenidos en las pruebas con participantes (Herrera, 2024).

Este componente del sistema se encarga de vigilar la posición corporal y brinda alertas vibratorias. A través de una unidad de medición inercial MPU6050, se monitorea la respiración, mientras que un sensor flexible se utiliza para evaluar la postura. Un motor vibratorio proporciona señales táctiles como respuesta (Bhongade, et al., 2024).

En el trabajo de Tohidi Joghhan, (2024), se propone un anillo inteligente que utiliza un microcontrolador CC2541 y un módulo sensor MPU6050 para recolectar datos

biométricos. La arquitectura del dispositivo, presentada en su diagrama esquemático, incluye también una fuente de alimentación y un módulo Bluetooth. Los datos recolectados son visualizados a través de una aplicación móvil desarrollada específicamente para este fin.

Se empleó un acelerómetro MPU-6050 triaxial (ejes x, y, z) que integra un giroscopio y un termómetro con un rango de operación de -40°C a 85°C . Para calibrar los ejes del acelerómetro, se realizaron movimientos extremos en una posición sentada estándar, abarcando desde una postura erguida hasta una inclinación típica al sentarse. La calibración consistió en 45 muestras de un segundo cada una, obtenidas durante 10 segundos de movimientos máximos y mínimos de cabeza, cuello (monitoreados por sensores LS1 y LS2) y columna vertebral (sensores LS3 y LS4), siguiendo el protocolo descrito en Marugan, et al. (2024).

Capítulo 3. Diseño del wearable

Se desarrollaron tres prototipos experimentales con el objetivo de perfeccionar el diseño del wearable. En el primer prototipo, se integraron galgas extensiométricas en la tela de la prenda para medir las deformaciones. Los resultados obtenidos de las pruebas con el primer prototipo indicaron la conveniencia de implementar modificaciones en el diseño.

La investigación concluyó que era necesario modificar y agregar ciertos componentes para optimizar el diseño. La integración del módulo MPU6050 se identificó como la solución más adecuada para cumplir con los objetivos del proyecto. En la fase de prototipado, se determinó que este módulo sería el núcleo central del dispositivo. A partir de esta decisión, se procedió a seleccionar los componentes complementarios indispensables para desarrollar un dispositivo portátil.

Los siguientes ámbitos fueron considerados para definir los componentes a integrar:

- *Que tenga una batería duradera.*
- *Que sea recargable.*
- *Que se pueda ver el nivel de carga que tiene la batería.*
- *Que pueda alimentar el circuito a unos constantes 3.3v.*
- *Que el usuario pueda prenderlo y apagarlo de manera sencilla.*
- *Que no ocupen un espacio demasiado grande.*

Al evaluar las opciones disponibles para cumplir con estos requisitos, se seleccionaron los siguientes componentes: una batería de litio de 1000mAh, un módulo de carga TP4056, un indicador de nivel de batería para litio, un convertidor DC-DC LM2596 y un interruptor.

3.1 Prototipo 1

Con el objetivo de crear un dispositivo innovador, se tomó como punto de partida una prenda básica: la playera. Sobre esta base, se integraron:

- *Como lo indica Mosquera, (2024) en su investigación, el ESP32 es un microcontrolador de alto desempeño que integra una amplia gama de funcionalidades, incluyendo conectividad inalámbrica, procesamiento de datos y periféricos diversos. Esta versatilidad lo convierte en una solución ideal para una gran variedad de aplicaciones en el Internet de las Cosas (IoT).*
- *Valverde y Yupanqui (2024) destaca que el módulo HX711 es una herramienta esencial en aplicaciones industriales y a pequeña escala. Este circuito integrado, con su conversor analógico-digital de 24 bits, se encarga de procesar las señales provenientes de puentes de Wheatstone, típicamente utilizados en celdas de carga. Su alta precisión y comunicación serial simplifican la integración en diversos sistemas de medición.*
- *Una galga extensiométrica funciona como un sensor que detecta cambios en la resistencia eléctrica cuando se somete a una fuerza o deformación. Este principio, conocido como efecto piezorresistivo, permite medir deformaciones*

en materiales y se utiliza comúnmente en celdas de carga. Escandón Pesántez (2024) profundiza en esta tecnología y sus aplicaciones.

Los módulos de alimentación MB102 son ampliamente utilizados en proyectos electrónicos debido a su capacidad para suministrar voltajes y corrientes estables y reguladas a bajo nivel. Estos dispositivos, reconocidos por su fiabilidad en entornos de laboratorio, garantizan un suministro de energía confiable para una amplia gama de aplicaciones (Carrasco, 2024).

El módulo de fuente de alimentación MB102 se conectó de la siguiente forma al ESP32.

- Salida positiva del MB102 a 3.3V del ESP32
- Salida negativa del MB102 a GND del ESP32

La conexión de los componentes es la conexión de las galgas extensométricas a él módulo HX711 que esté a su vez se conecta al ESP32.

- *Conectar las galgas extensométricas en un puente de Wheatstone, al conectar las galgas de esta forma tendremos 4 salidas VCC, GND, Vout+, Vout- donde:*
 - *la salida Vout+ a A+ en el HX711.*
 - *la salida Vout- a A- en el HX711.*
 - *VCC a E+ en el HX711.*
 - *GND a E- en el HX711.*
- *Al tener completada la conexión de las galgas al módulo HX711 se procede a conectar el módulo al ESP32:*

- VCC del HX711 al pin de 3.3V del ESP32.
- GND del HX711 al GND del ESP32.
- DT del HX711 al pin 23 del ESP32
- SCK del HX711 al pin 22 del ESP32

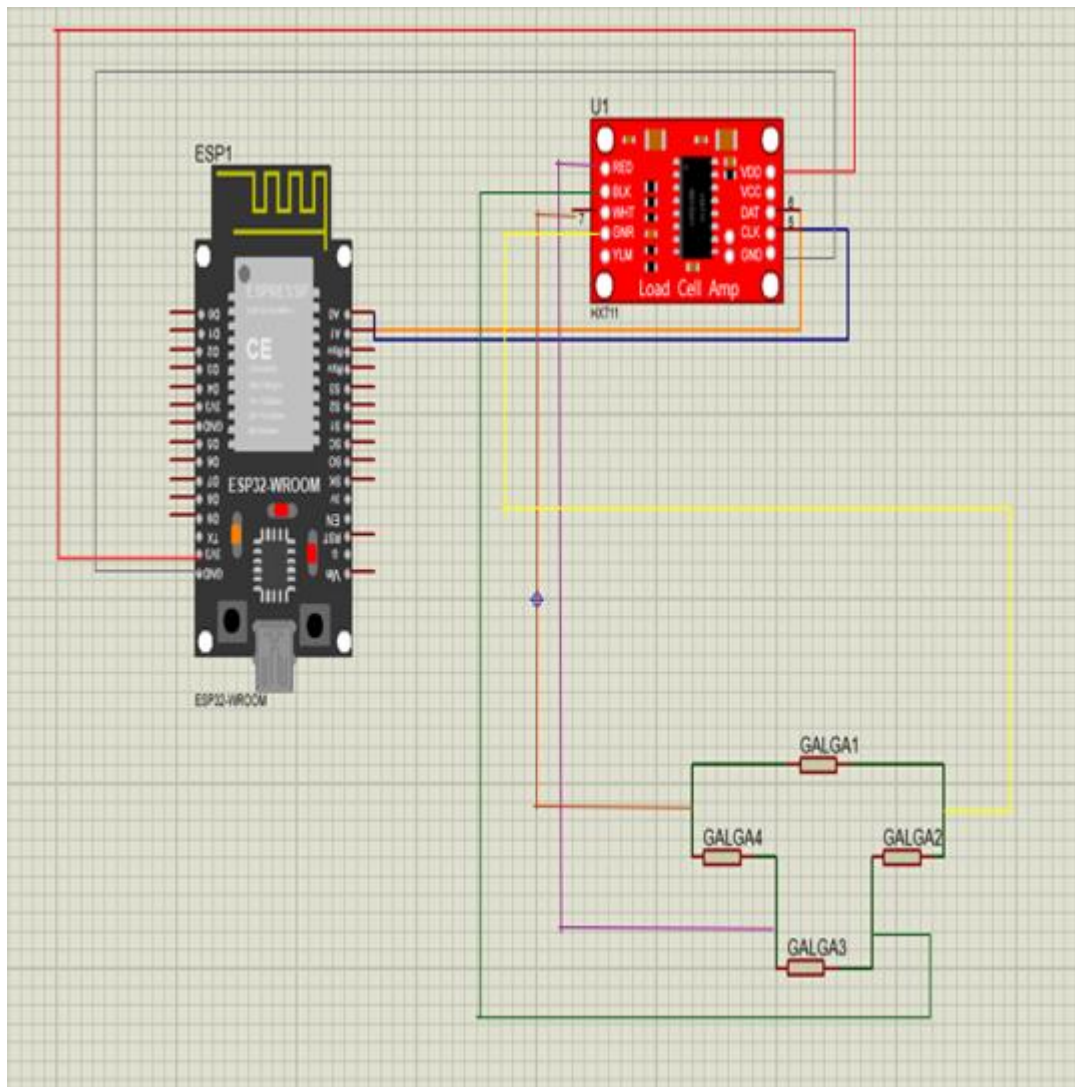


Imagen 1. Esquemático del prototipo 1

La imagen 1 ofrece una representación detallada de la configuración empleada para conectar el módulo HX711, las galgas extensiométricas y la placa ESP32. Esta

imagen evidencia claramente la disposición de las galgas en una configuración de puente de Wheatstone.

Al concluir la estructura general, nos enfocamos en la concreción visual del diseño sobre la camiseta. Para ello, elaboramos la siguiente propuesta gráfica.

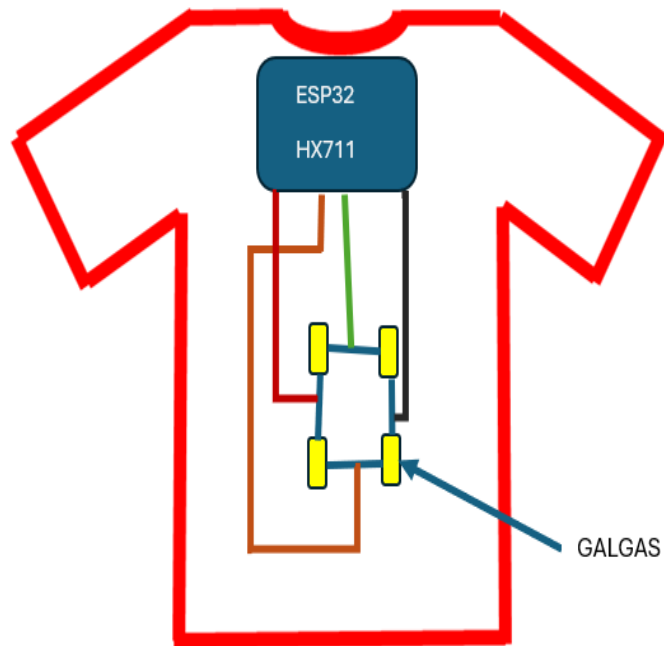


Imagen 2. Diseño de ubicación de los componentes del prototipo 1

La imagen 2 detalla la disposición de los elementos en la camiseta. Para su colocación, se identificaron áreas de la prenda que experimentan alteraciones durante los movimientos del cuerpo.

Una vez recopilada toda la información, se adquirieron los componentes necesarios para construir el primer prototipo. Iniciamos el ensamblaje, integrando una batería de 9V al módulo de alimentación y un LED al pin 13 del microcontrolador ESP32.

Paralelamente, se desarrolló un programa en el entorno de desarrollo integrado de Arduino con el objetivo de que realice lo siguiente:

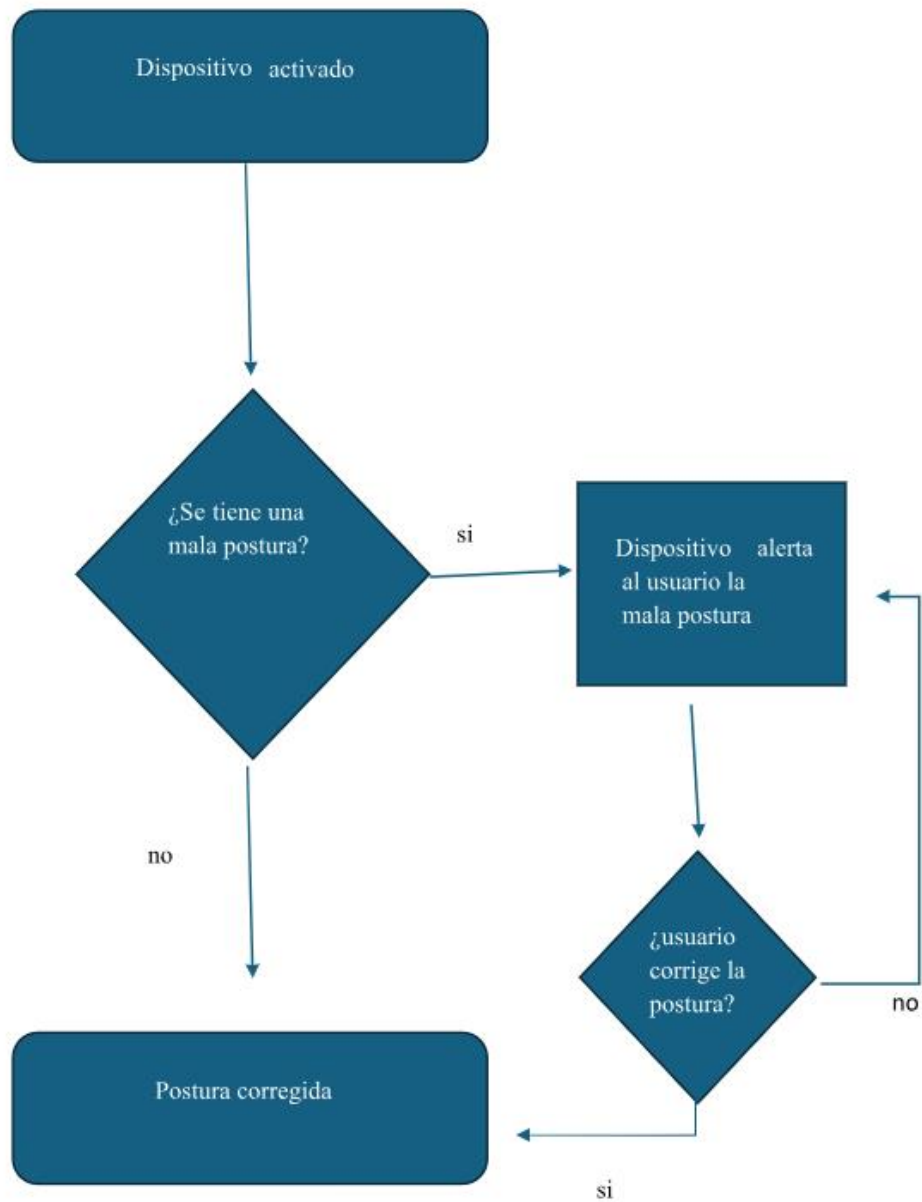


Imagen 3. Diagrama del funcionamiento del prototipo 1

La imagen 3 muestra el comportamiento deseado del primer prototipo, el cual se logró gracias a la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos y a la implementación del software en la placa ESP32.



Imagen 4. Prototipo 1

La imagen 4 presenta la primera iteración tangible del prototipo, materializada en una playera. Esta implementación física nos permitió evaluar de manera práctica el prototipo.

Durante la fase de pruebas del prototipo 1, se identificaron limitaciones en el uso de galgas comerciales. Estas incluían una cobertura insuficiente, una elevada tasa de

falsos positivos y una complejidad en el cableado que afectaba la experiencia del usuario. Ante esta situación, se optó por buscar componentes alternativos para el diseño del prototipo 2.

3.2 Prototipo 2

El segundo prototipo evolucionó a partir del primero, conservando el microcontrolador ESP32, el LED y el módulo de alimentación MB102. No obstante, se integraron nuevas funcionalidades mediante la adición de los siguientes componentes:

- *Tal como se indica en Sitompul et al. (2024), el MPU6050, una unidad de medida inercial sexaxial, fusiona un acelerómetro y un giroscopio triaxial.*

Para ensamblar este prototipo, se establecieron las siguientes conexiones entre los componentes:

- *Conexión del MPU6050 al ESP32*
 - *VCC del MPU6050 a 3.33V del ESP32*
 - *GND del MPU6050 a GND del ESP32*
 - *SCL del MPU6050 a pin D22 del ESP32*
 - *SDA del MPU6050 a pin D21 del ESP32*
- *Se mantienen las conexiones del led y fuente de alimentación MB102.*

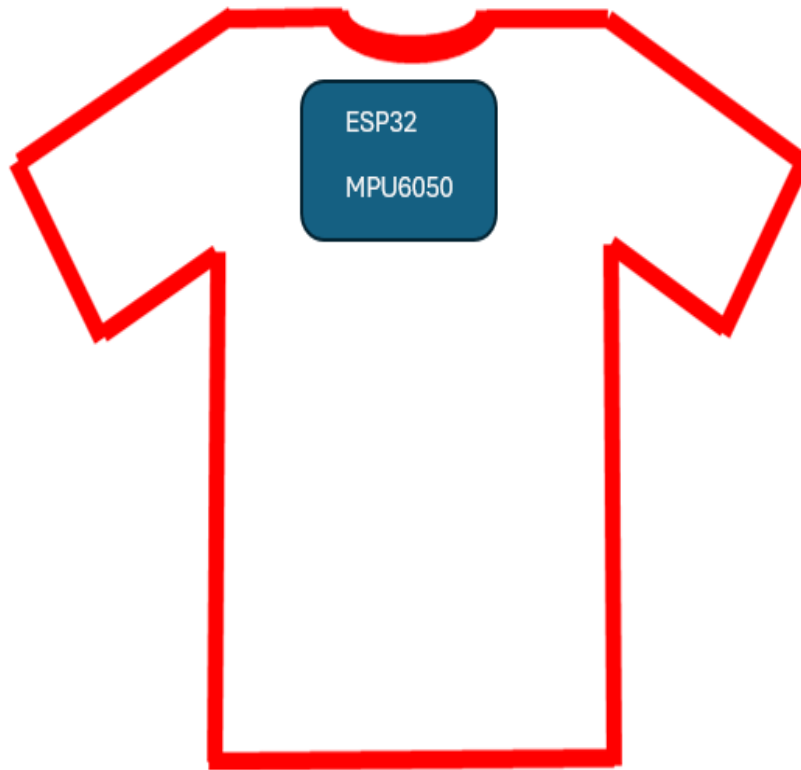


Imagen 6. Diseño de ubicación de los componentes del prototipo 2

En la imagen 6 se aprecia la posición del segundo prototipo. A diferencia del primero, la ubicación del sensor MPU6050 ha sido estratégicamente seleccionada. Dada la naturaleza giroscópica de este componente, su colocación busca maximizar la detección de cambios en la orientación del dispositivo.

El desarrollo del programa comenzó después de concluir los diseños. Para las pruebas iniciales, se utilizó un chatbot de Telegram creado mediante BotFather, una plataforma que facilita la creación de bots. Este chatbot resultó ser una herramienta valiosa para evaluar el funcionamiento del dispositivo en una etapa temprana.

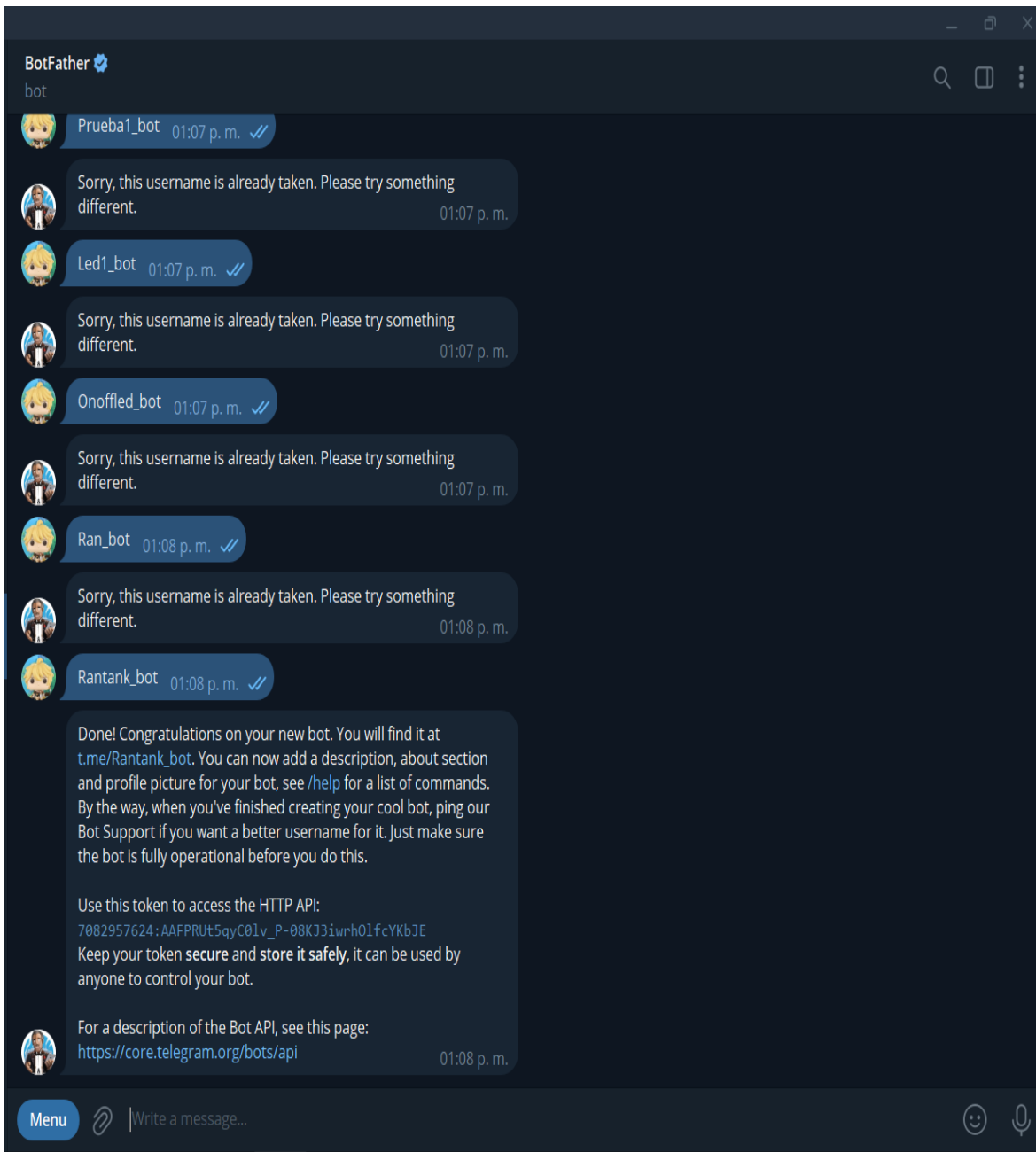


Imagen 7. Creación del bot por medio de BotFather

En la imagen 7 se muestra el proceso de creación del bot empleado en los prototipos a través de BotFather. Este servicio proporcionó un token de acceso único para la interacción con el bot desarrollado.

Una vez creado el bot, se desarrolló el código para su implementación en el ESP32. Se incorporaron librerías que facilitan la conexión a redes Wi-Fi y la interacción con el bot de Telegram, permitiendo ejecutar acciones a través de comandos. El objetivo era lograr que el sistema funcionara de la siguiente manera:

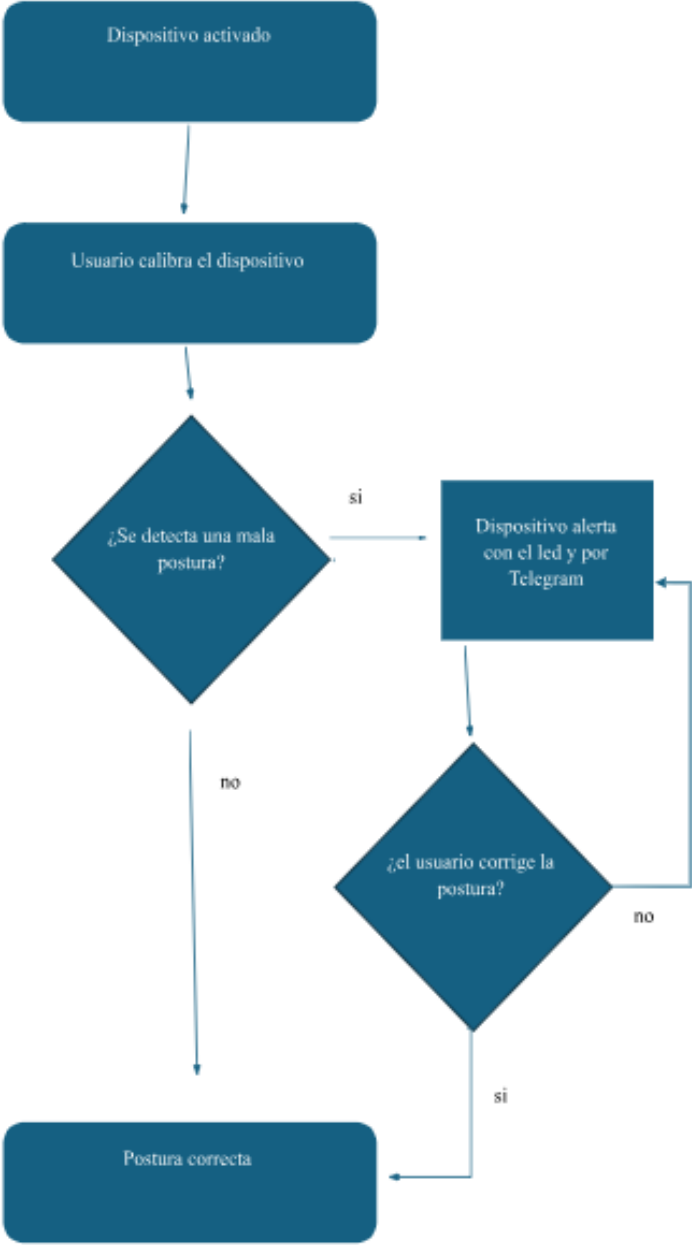


Imagen 8. Diagrama de funcionamiento del prototipo 2

La imagen 8 ilustra el comportamiento deseado del segundo prototipo. Para lograr esto, se destaca la relevancia de ciertos fragmentos del código, tales como:

- *Calibración del dispositivo: donde con el comando /calibrate desde el dispositivo asigna valores a cada uno de los ejes.*

```
if (text == "/calibrate") {  
    mpu.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);  
    thresholdX = abs(ax);  
    thresholdY = abs(ay);  
    thresholdZ = abs(az);  
    bot.sendMessage(chat_id, "Calibración completa. Valores  
actuales de umbral: \nThresholdX: " + String(thresholdX) +  
"\nThresholdY: " + String(thresholdY) + "\nThresholdZ: " +  
String(thresholdZ), "");  
}
```

- *Dar un margen de 1.5 para que no notifique por cualquier movimiento.*

```
float marginX = thresholdX * 1.5;  
  
float marginY = thresholdY * 1.5;  
  
float marginZ = thresholdZ * 1.5;
```

- **Sistema de alerta postural:** *El dispositivo compara constantemente los datos del acelerómetro con los valores de referencia para determinar si la postura es correcta. Si la postura es incorrecta, se enciende una luz y suena una alarma. Al corregir la postura, la luz se apaga y la alarma cesa.*

```
bool newPostureCorrect = !(abs(ax - thresholdX) > marginX
|| abs(ay - thresholdY) > marginY || abs(az - thresholdZ) >
marginZ);
```

```
if (newPostureCorrect != postureCorrect) {

    if (newPostureCorrect) {

        Serial.println("Mala Postura");

        digitalWrite(ledPin, HIGH);

        if (chat_id != "") {

            bot.sendMessage(chat_id, "La postura es
incorrecta.");

        }

    } else {

        Serial.println("correcta postura");

        digitalWrite(ledPin, LOW);

        if (chat_id != "") {

            bot.sendMessage(chat_id, "correcta postura ");

        }

    }

}
```

```
postureCorrect = newPostureCorrect;  
  
}
```

El código desarrollado permite que el ESP32 se conecte a una red Wi-Fi y establezca comunicación con un chatbot de Telegram. Una vez finalizada la programación, se llevó a cabo la implementación práctica del proyecto y se realizaron pruebas exhaustivas del bot.



Imagen 9. Implementación física del prototipo 2

Como se aprecia en la imagen 9, el sensor MPU6050 fue montado de manera que cualquier cambio en la posición del cuerpo, especialmente aquellos que involucran movimientos de la parte superior, provocarán una rotación del sensor respecto a sus ejes originales, lo que se reflejará en las lecturas obtenidas.

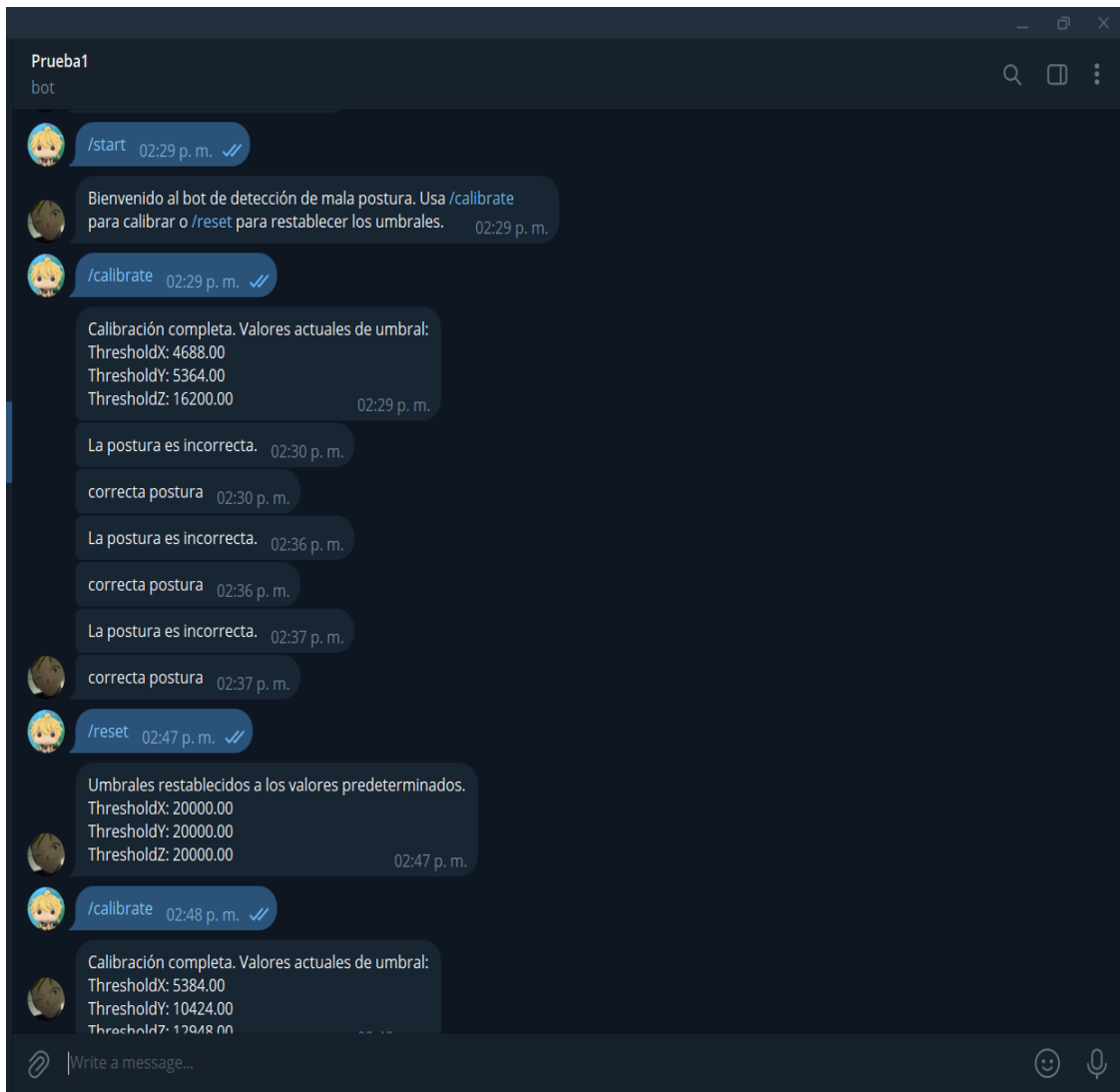


Imagen 10. Prueba del bot

La imagen 10 ilustra la interacción del chatbot con el microcontrolador ESP32. Esta demostración expone cómo se ajustan y reinician, desde la interfaz del chatbot, los parámetros de umbral que determinan la postura.

3.3 Prototipo 3

En la tercera versión del prototipo, se mantuvo la arquitectura central basada en el ESP32, el MPU6050 y el LED. Sin embargo, se optimizó la fuente de alimentación al prescindir del MB102 y la batería de 9V, optando por:

- *Una batería de litio de 1000mAh es un dispositivo que almacena energía eléctrica en forma química. Su funcionamiento se basa en el principio de las celdas electroquímicas, unidades básicas compuestas por un ánodo, un cátodo y un electrolito. Cuando se conectan en serie o en paralelo, estas celdas permiten obtener diferentes voltajes y capacidades. Valencia, Parco, (2024) profundiza en los mecanismos electroquímicos que sustentan este proceso de conversión de energía.*
- *Villanueva (2024) destaca el TP4056 por su innovador enfoque en la carga de baterías, empleando la generación de pulsos. Esta técnica, en comparación con métodos tradicionales, optimiza significativamente el tiempo de carga y la eficiencia energética. El diseño electrónico del módulo, que incluye un PMOSFET sin la necesidad de un diodo de bloqueo, es una característica distintiva que simplifica el circuito y mejora la fiabilidad. Además, el mecanismo de retroalimentación térmica garantiza una carga segura y controlada, evitando sobrecargas.*
- *Un módulo indicador de capacidad de baterías de litio es un circuito electrónico que, al conectarse a una batería de ion de litio, muestra de forma precisa el nivel de carga restante. Este dispositivo, esencial en aplicaciones portátiles y dispositivos electrónicos, emplea indicadores LED o pantallas*

LCD para brindar al usuario una lectura clara y actualizada sobre la autonomía de la batería.

- El LM2596, un regulador de voltaje DC-DC de dimensiones compactas (43x21x14 mm) fabricado por Yizhet, es capaz de operar con una amplia gama de voltajes de entrada, desde 3.2V hasta 40V. Además, ofrece la flexibilidad de ajustar el voltaje de salida entre 1.25V y 35V (Tovar, 2024).
- Switch: es un dispositivo eléctrico que controla el paso de corriente en un circuito. Al activarlo ('on'), establece una conexión eléctrica, permitiendo el flujo de corriente y energizando los equipos conectados. Por el contrario, al desactivarlo ('off'), interrumpe esta conexión, evitando el paso de corriente y desactivando los dispositivos.

Para las conexiones se realizó lo siguiente:

- Se conectó la batería a las terminales de entrada del módulo de carga.
- Se conectó en la terminal negativa del módulo de carga a la terminal negativa del módulo indicador de capacidad, la terminal positiva de salida del módulo de carga se conecta al switch y del switch se conecta a la terminal positiva del módulo indicador de capacidad.
- Se conectó de las terminales del módulo indicador de batería a las terminales de entrada del LM2596S.

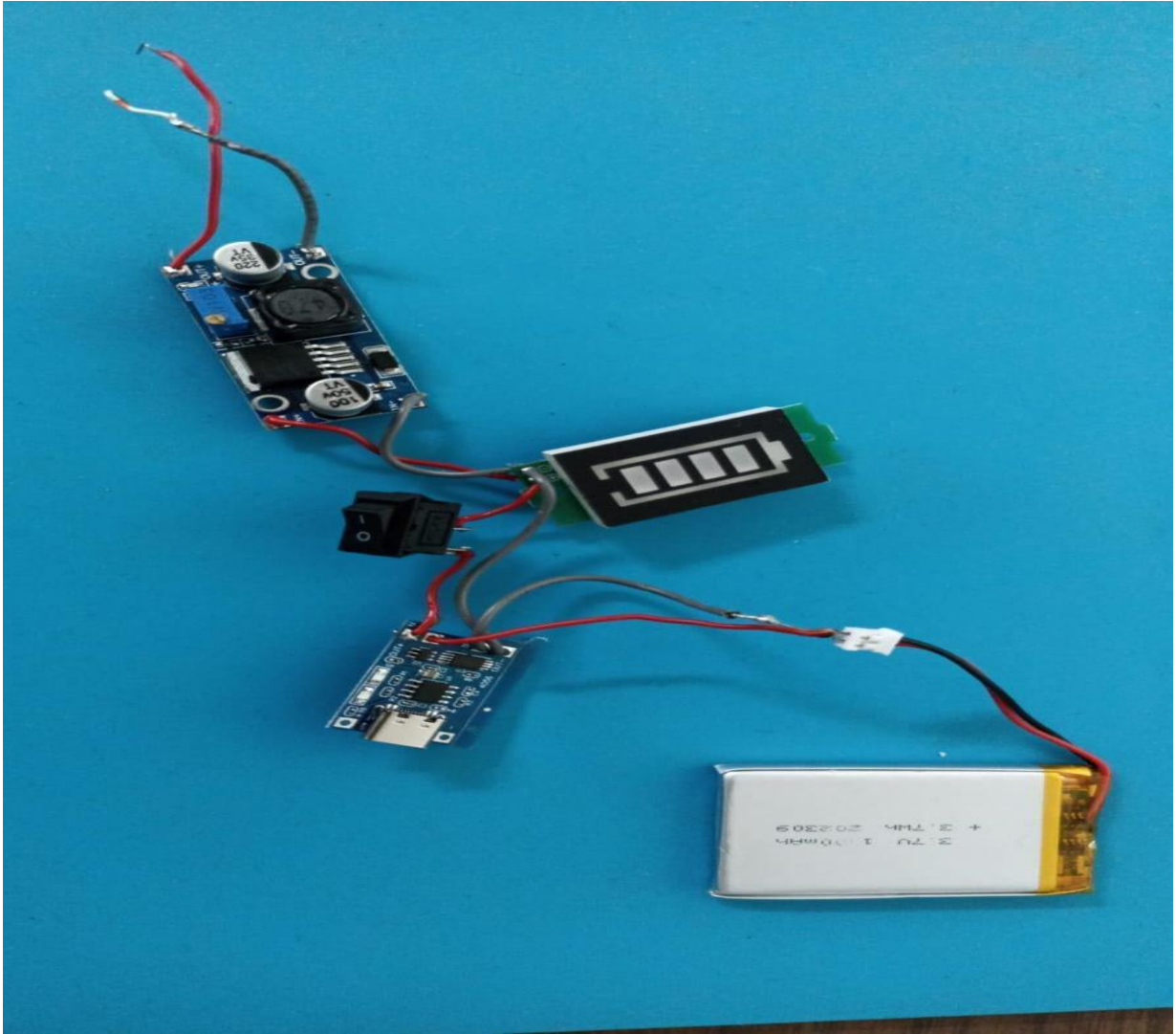


Imagen 11. Conexión de componentes para alimentación

La imagen 11 ilustra la disposición de los componentes. Para facilitar la visualización de las conexiones, se emplearon cables de color rojo para la polaridad positiva y gris para la negativa.

Una vez ensambladas las conexiones, se ajustó el voltaje del regulador a 3.3V para alimentar tanto el microcontrolador ESP32 como el sensor MPU6050. Empleando un multímetro y una herramienta de precisión, se verificó y estabilizó la salida de voltaje antes de proceder a la integración completa del circuito.

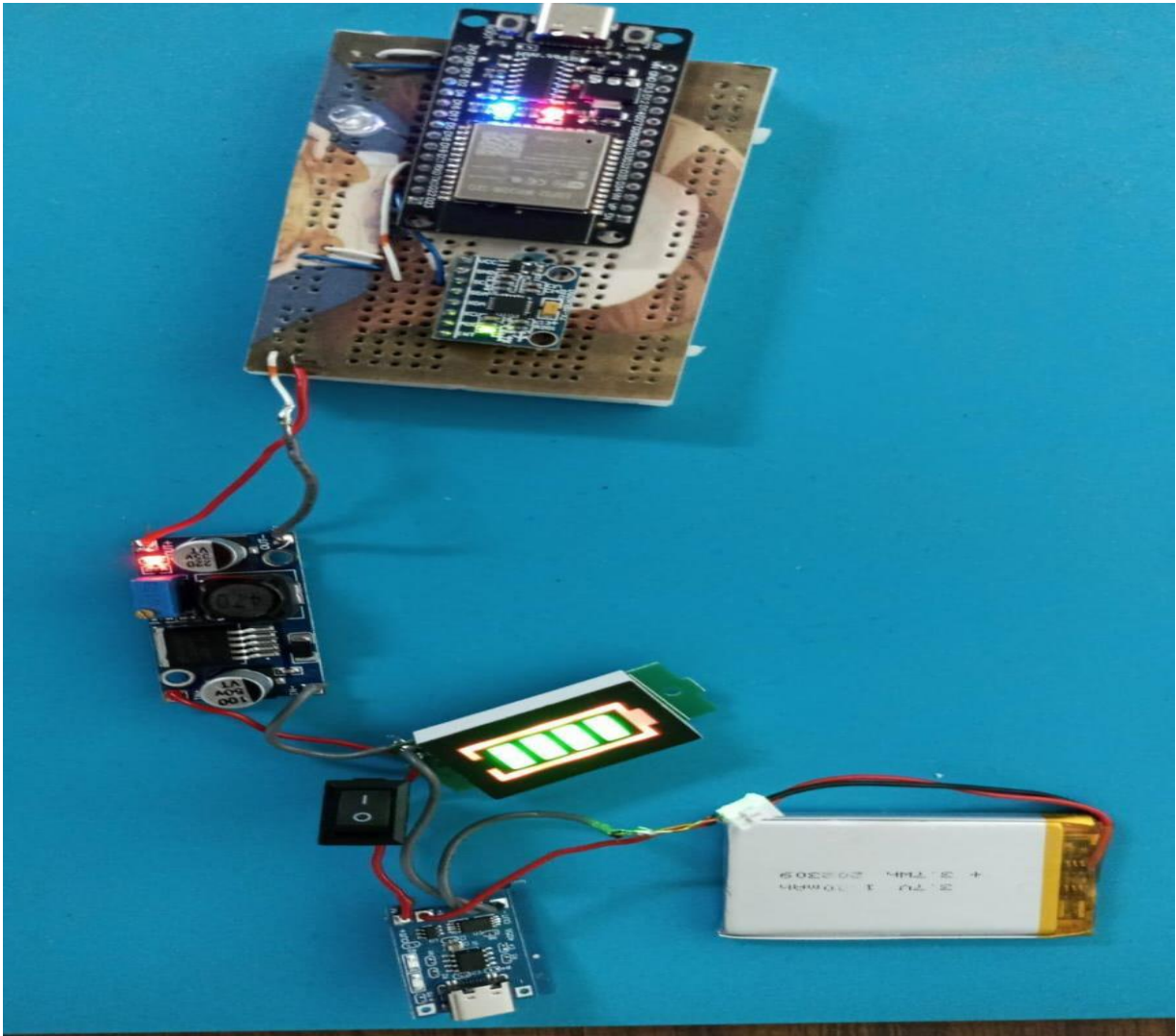


Imagen 12. Prototipo 3

La imagen 12 muestra el prototipo final, donde todos los componentes se integran físicamente en una única unidad. Las pruebas realizadas con una batería de litio indican un funcionamiento óptimo.

Capítulo 4. Implementación de un wearable

Se seleccionó el prototipo 3 como base para la creación del dispositivo portátil. Una vez reunidos todos los componentes, se procedió a modelar la carcasa utilizando la herramienta de diseño digital 'Meshmixer'. Este software permitió integrar de manera precisa todos los elementos en un único diseño.”.

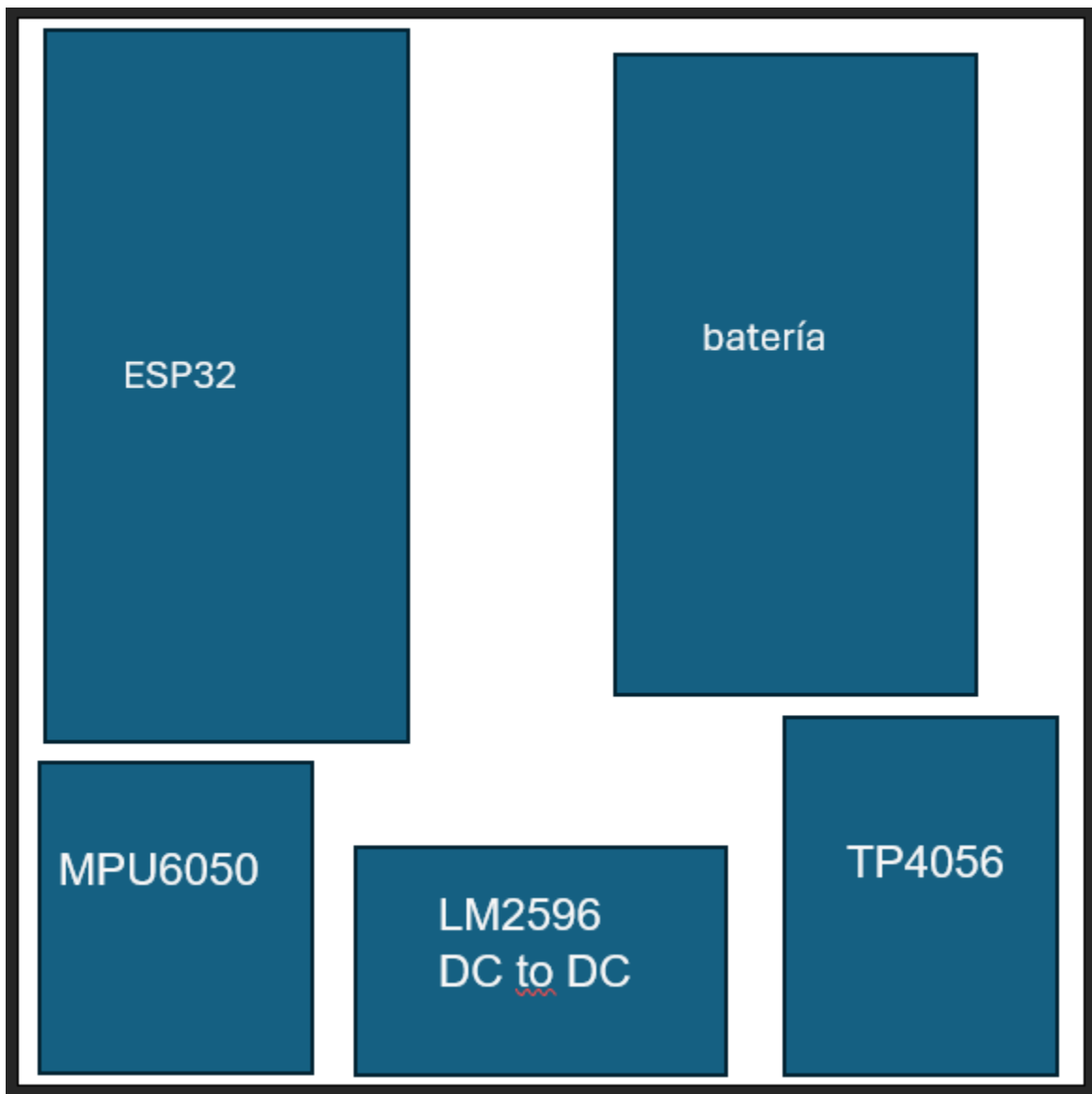


Imagen 13. colocación de los componentes que se ubican dentro de la parte 1 de la carcasa

La Imagen 13 detalla la distribución inicial de los componentes dentro de la carcasa. Para esta disposición se realizó un análisis dimensional preciso de cada pieza, asegurando un ajuste óptimo y evitando interferencias:

- *ESP32: 5.5cm x 3.5cm*
- *Batería: 5cm x 3.5cm*
- *TP4056: 2.9cm x 1cm*
- *LM2596 DC to DC: 2.2cm x 4.4cm*
- *MPU6050: 2.1cm x 1.6cm*

A partir de los datos obtenidos, se determinó que las dimensiones óptimas para el diseño eran de 8 cm x 8 cm. Este tamaño permitía acomodar todos los componentes sin superposiciones. Con el fin de garantizar un espacio adecuado, se estableció una altura de 2.5 cm. Considerando estos parámetros, se desarrollaron los siguientes diseños.

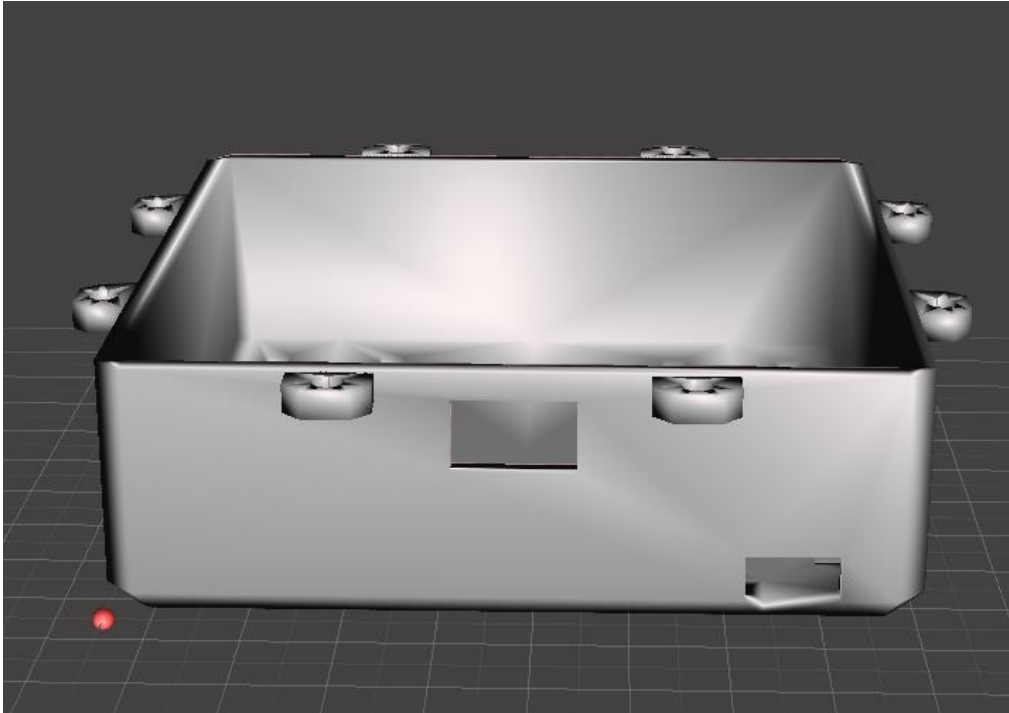


Imagen 14. Parte 1 de la carcasa (vista 1)

La primera vista de la primera parte de la carcasa (Imagen 14) revela dos perforaciones. La situada en la esquina inferior derecha está destinada a la conexión del cable de carga al circuito integrado TP4056. Por su parte, la perforación central superior alojará el interruptor.

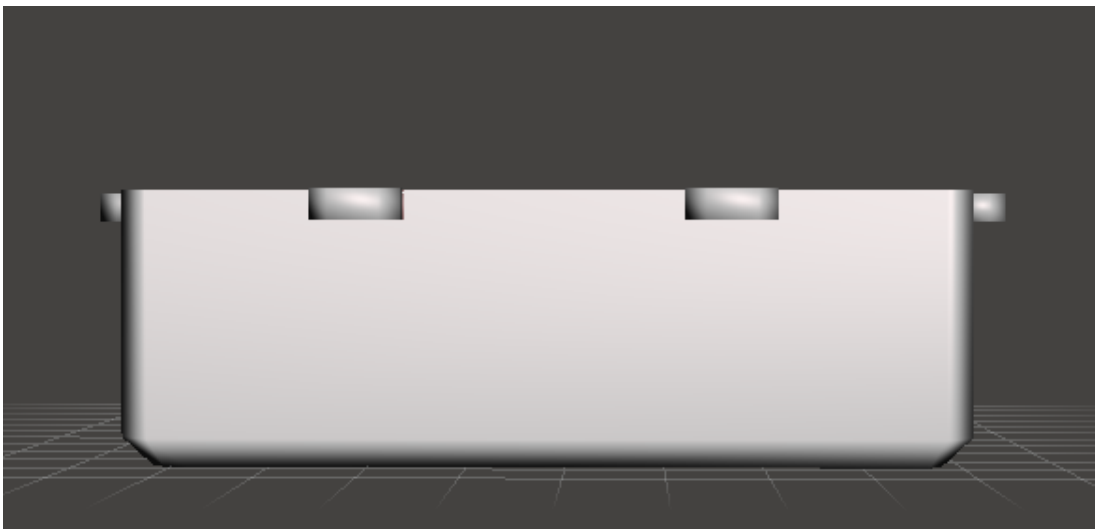


Imagen 15. Parte 1 de la carcasa (vista 2)

La imagen 15 nos muestra las tres caras restantes del diseño, las cuales carecen de salidas.

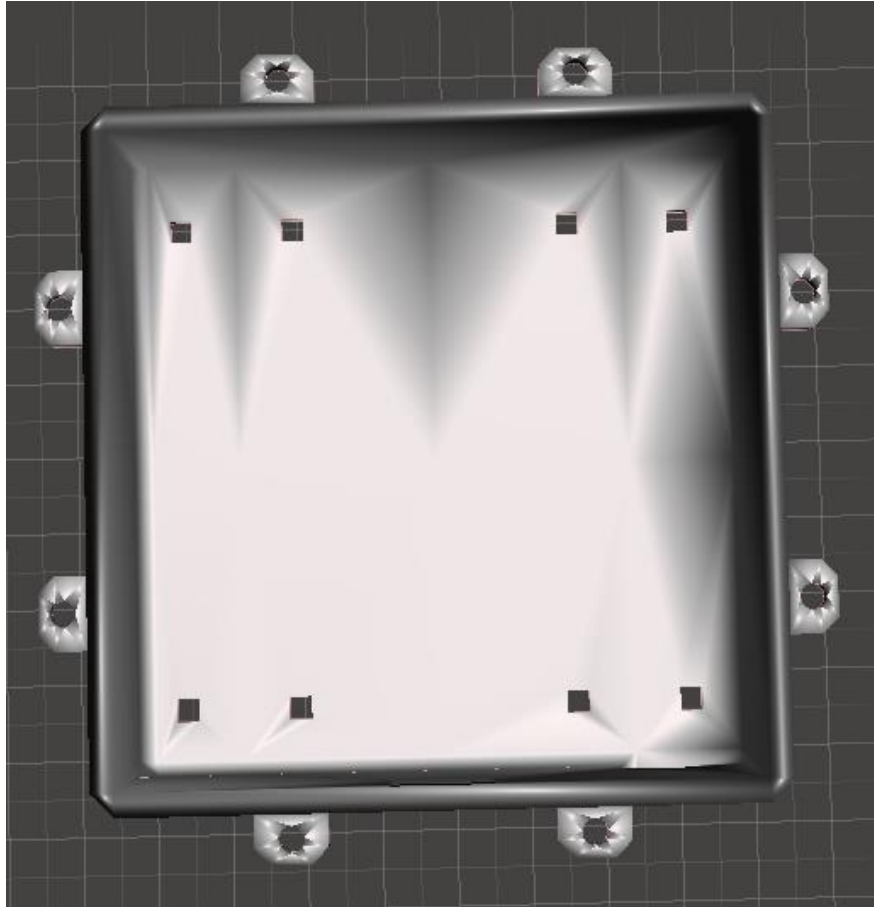


Imagen 16. Parte 1 de la carcasa (vista 3)

La imagen 16 muestra el espacio personalizado que se ha destinado para alojar los componentes. Dicho espacio fue diseñado a medida, siguiendo los cálculos expuestos en la imagen 13.

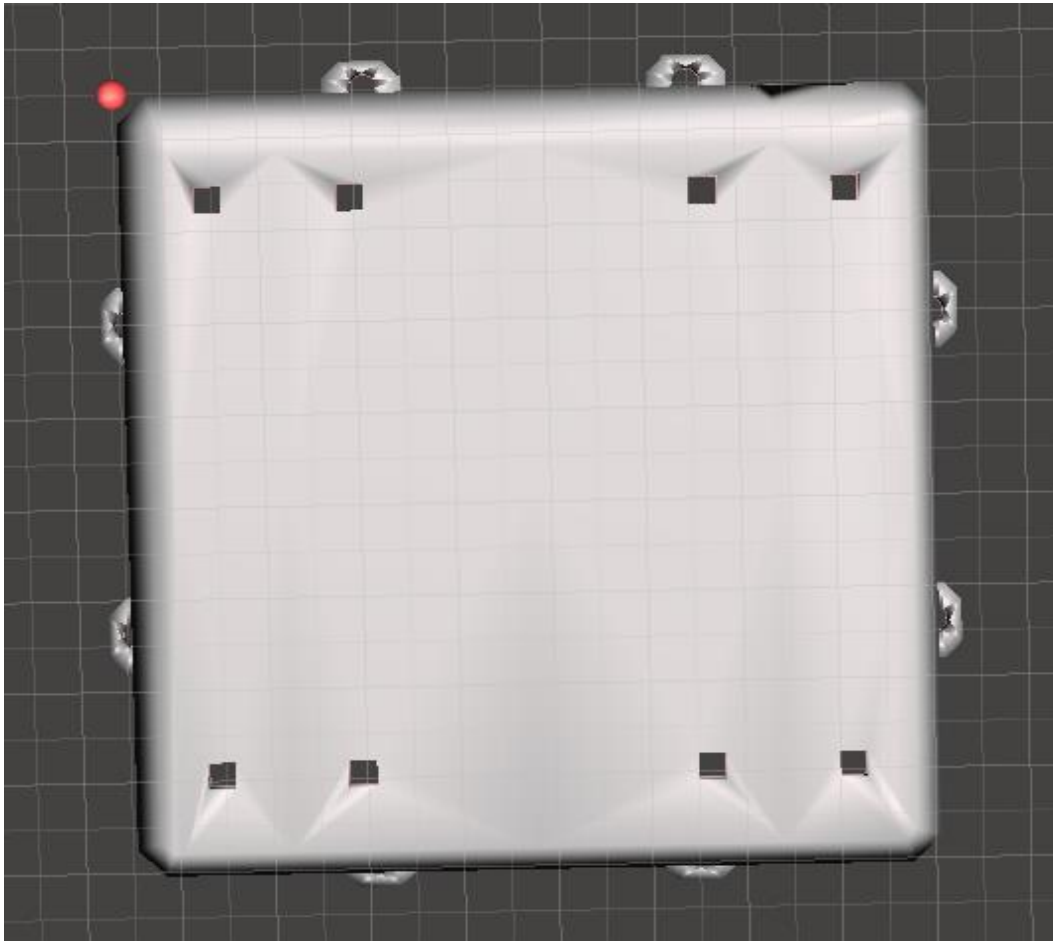


Imagen 17. Parte 1 de la carcasa (vista 4)

La imagen 17 muestra la pieza base de la primera sección de la carcasa. Esta base, que se adhiere directamente a la prenda, presenta perforaciones estratégicamente ubicadas para facilitar la fijación de cierres de velcro si fuera necesario.

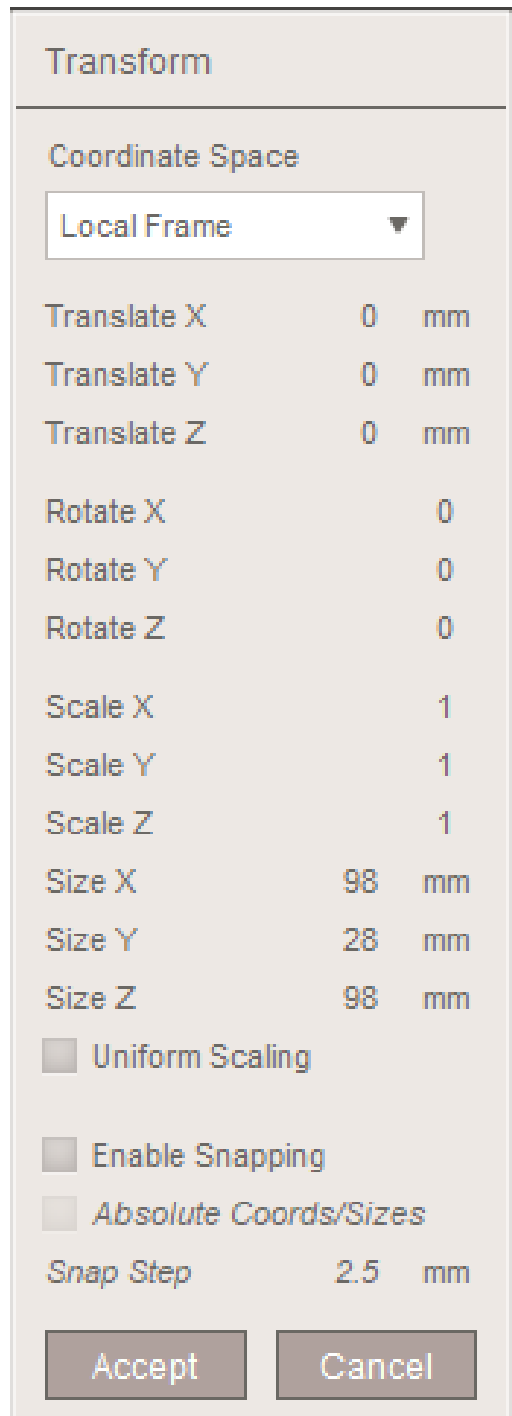


Imagen 18. Parte 1 de la carcasa (medidas)

En la figura 18 se presentan las dimensiones del modelo obtenidas a partir del software Meshmixer. Esta medición considera una posible contracción del material

durante el proceso de impresión 3D, debido a las variaciones térmicas propias de la impresora.

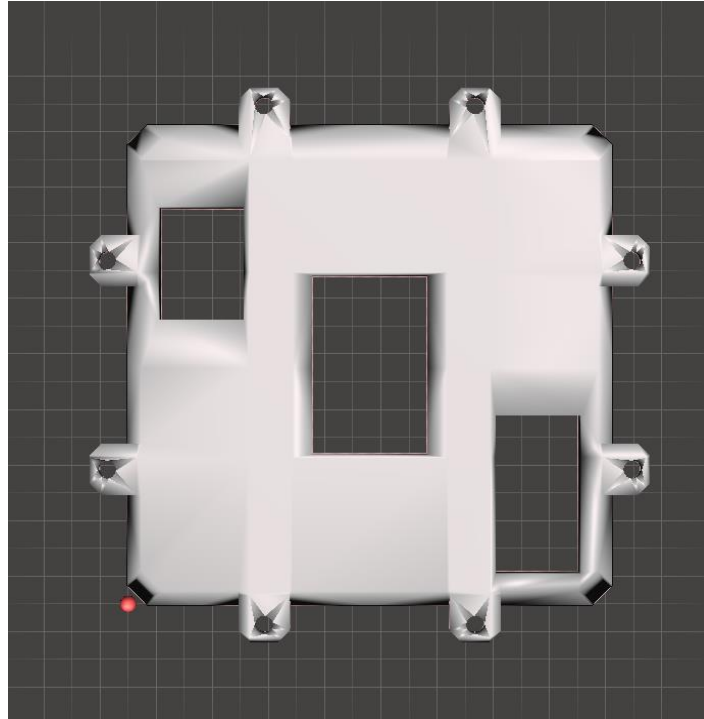


Imagen 19. Parte 2 de la carcasa (vista 1)

La imagen 19 muestra la parte exterior de la cubierta. En ella se aprecian tres aperturas alineadas: la primera indica el estado del LED, seguida del puerto de carga y finalmente, otro LED que señala el proceso de carga.

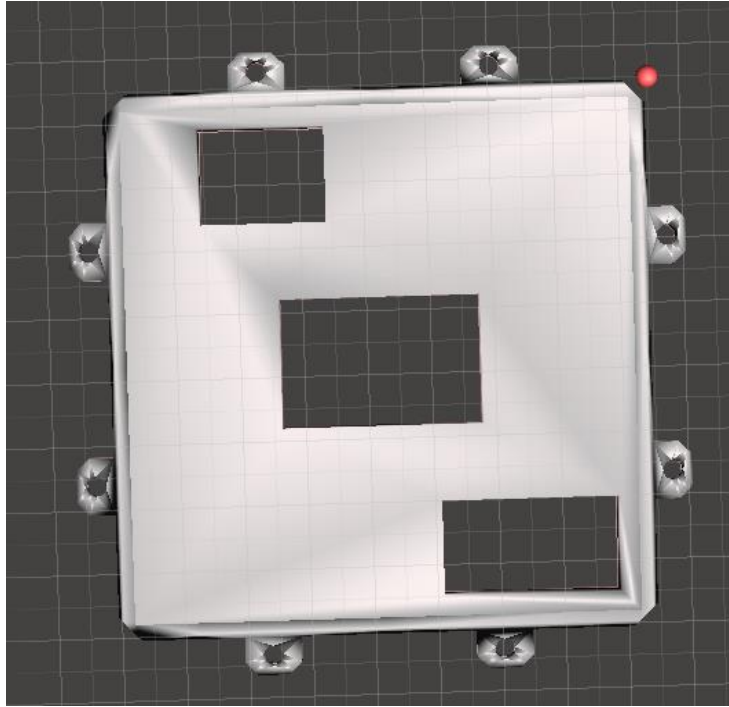


Imagen 20. Parte 2 de la carcasa (vista 2)

En la Imagen 20, la parte interior de la tapa presenta una saliente que se acopla con precisión a la sección 1 de la carcasa, lo cual permite un cierre sencillo y seguro.

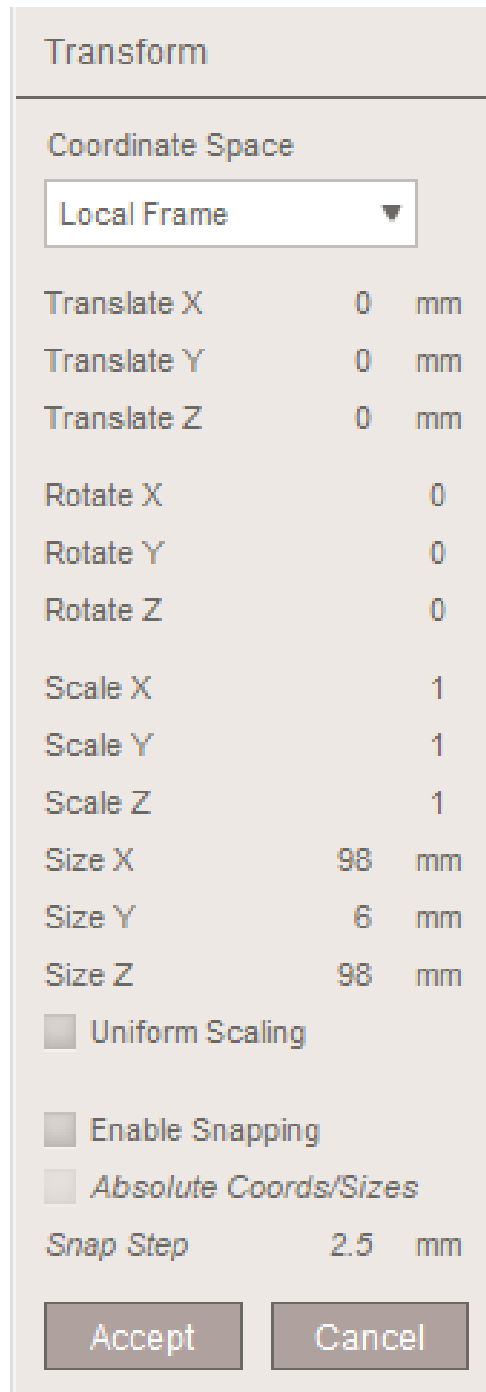


Imagen 21. Parte 2 de la carcasa (medidas)

En la imagen 21 se presentan las dimensiones del modelo obtenidas a partir del software Meshmixer. Estas medidas se establecieron considerando una posible

contracción del material durante el proceso de impresión 3D, debido a las variaciones térmicas propias de la impresora.

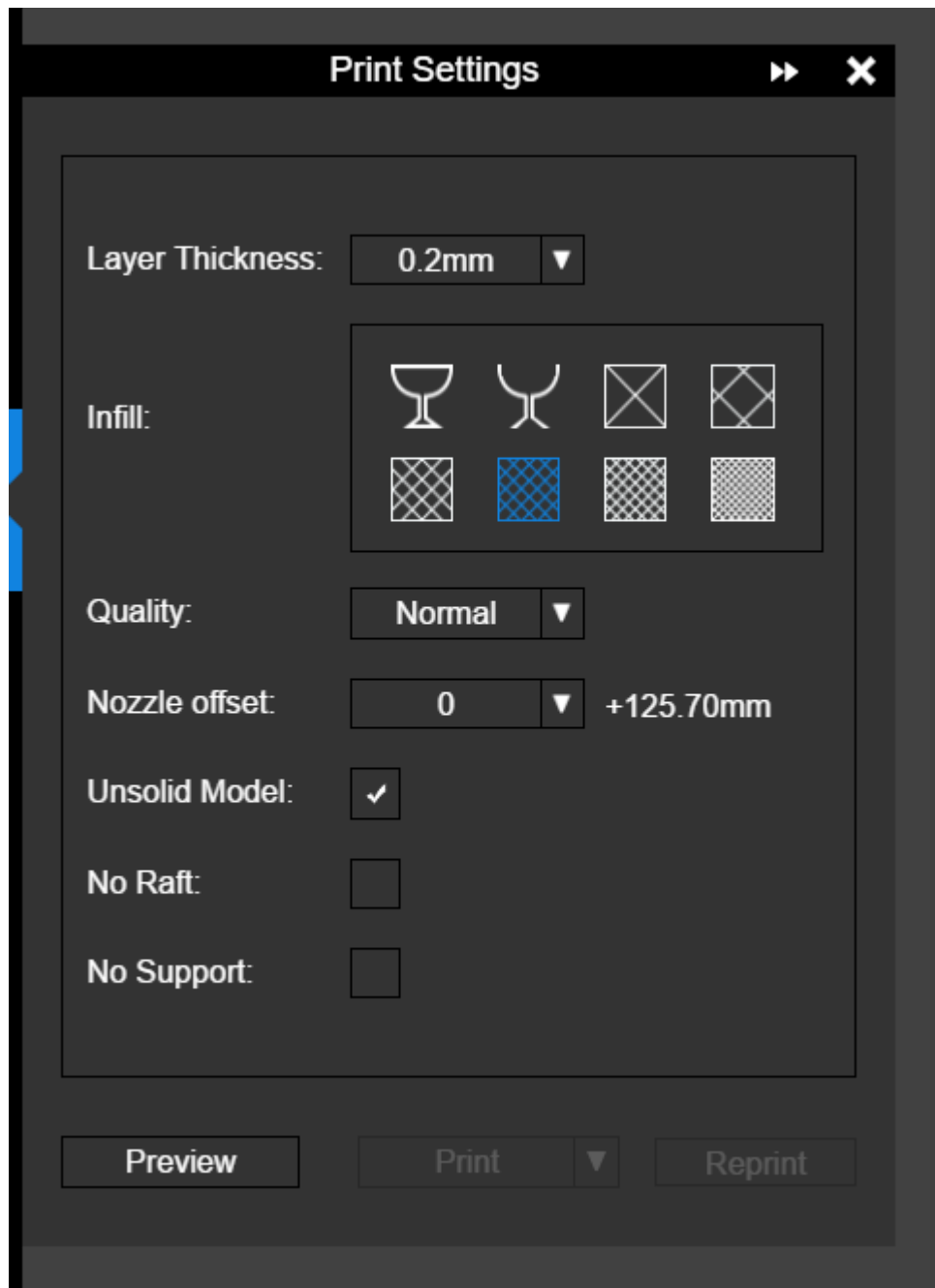


Imagen 22. Parámetros de impresión

Una vez finalizados los diseños, se procedió a su fabricación mediante impresión 3D. Para este proceso, se empleó una impresora 3D de modelo "UP" que utiliza

filamento ABS. Las configuraciones de impresión se realizaron a través del software UPStudio, siguiendo los parámetros detallados en la imagen 22.

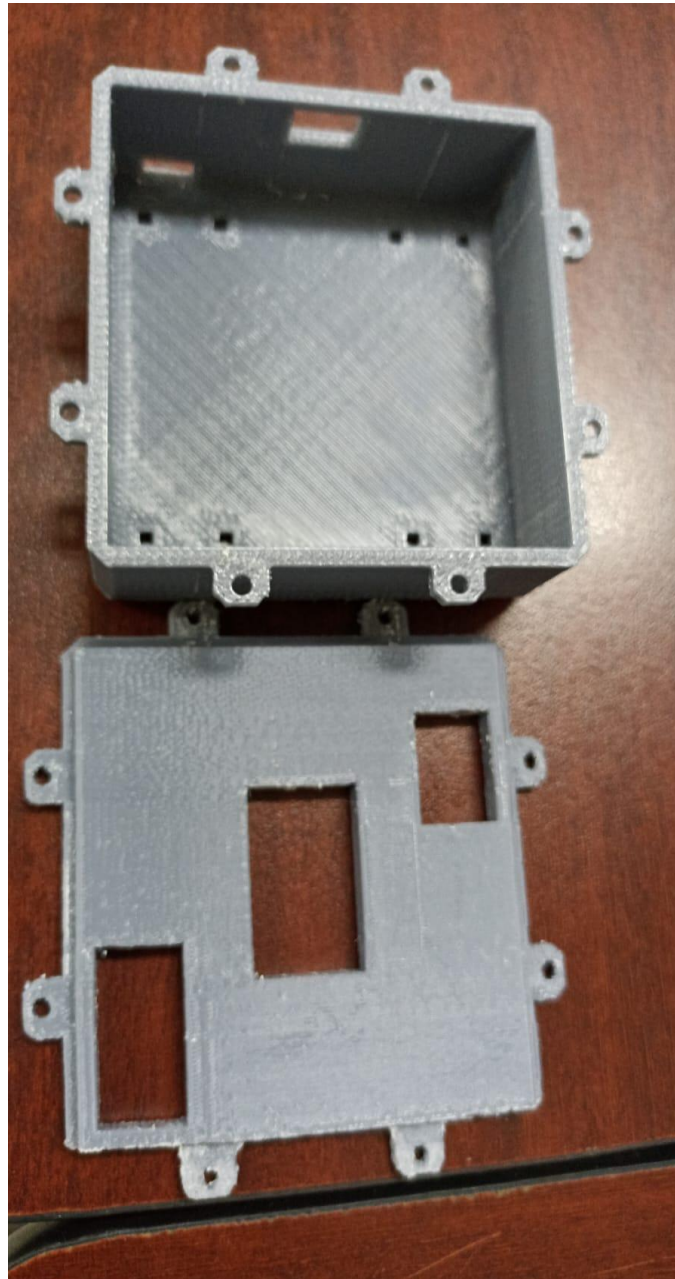


Imagen 23. Impresión de la carcasa

La imagen 23 muestra las piezas impresas que conforman la carcasa del dispositivo. Dada la naturaleza del material y el proceso de impresión, es indispensable un ligero

lijado para eliminar las imperfecciones superficiales típicas de este tipo de fabricación.



Imagen 24. Componentes en el case

Las partes de la carcasa impresas en 3D sirvieron como base para la integración de los componentes electrónicos. Con el fin de optimizar el espacio interior y permitir una fácil reconfiguración, se optó por un sistema de fijación mediante velcro. Las

zonas transparentes de la tapa, realizadas con acetato, garantizaron la visibilidad de los LED de carga y notificación sin comprometer la protección de los circuitos internos. La imagen 24 muestra el resultado final del ensamblaje, donde se puede apreciar la disposición de los componentes y las conexiones eléctricas establecidas.



Imagen 25. Wearable v.1

Para facilitar el ensamblaje y desmontaje de la carcasa, se optó por un sistema de conexión modular para el módulo indicador de carga de batería. Mediante el uso de conectores hembra divididos, se logró una unión segura y fácil de desconectar entre los componentes de la primera parte de la carcasa y el módulo. Esta solución no

solo agiliza el proceso de construcción, sino que también reduce la posibilidad de errores durante el cierre de la carcasa, tal como se muestra en la imagen 25.

Capítulo 5. Pruebas y resultados

Se desarrolló una metodología basada en la modificación del software para obtener datos precisos sobre la postura de los usuarios. A través de comandos de registro, se capturó el tiempo dedicado a cada tipo de postura. Estos datos fueron organizados en una hoja de cálculo para facilitar su análisis y seguimiento.

Lo que se integró en el código para que se hicieran las pruebas es lo siguiente:

- *Variables para el registro:*

```
// Variables para el registro
```

```
bool recording = false; // Indica si se está grabando o no
```

```
unsigned long startTime = 0; // Tiempo en que inició la  
grabación
```

```
unsigned long goodPostureTime = 0; // Tiempo acumulado de buena  
postura
```

```
unsigned long badPostureTime = 0; // Tiempo acumulado de mala  
postura
```

```
unsigned long lastCheckTime = 0; // Última vez que se  
verificó la postura
```

- Comandos: /record_start y /record_stop

```
// Comando para iniciar la grabación
```

```
if (text == "/record_start") {
```

```

if (!recording) {

    recording = true;

    startTime = millis();

    goodPostureTime = 0;

    badPostureTime = 0;

    lastCheckTime = millis();

    bot.sendMessage(chat_id, "Grabación iniciada.", "");

} else {

    bot.sendMessage(chat_id, "La grabación ya está en
curso.", "");

}

}

// Comando para detener la grabación y enviar el resumen

if (text == "/record_stop") {

    if (recording) {

        recording = false;

        unsigned long totalTime = (millis() - startTime) / 1000;

// Convertir a segundos

```

```

        bot.sendMessage(chat_id, "Grabación detenida.\nTiempo
total: " + String(totalTime) + " segundos\nBuena postura: " +
String(goodPostureTime) + " segundos\nMala postura: " +
String(badPostureTime) + " segundos", "");

    } else {

        bot.sendMessage(chat_id, "No hay ninguna grabación en
curso.", "");

    }

}

}

}
}

```

- Con el objetivo de llevar a cabo esta investigación, se consideraron los siguientes conceptos clave para la obtención de información:
- *Tiempo total: La duración total de la prueba se mide desde el momento en que se ejecuta el comando '/record_start' hasta la ejecución del comando '/record_stop'.*
- *Buena postura: cuantifica la duración en la que el usuario exhibe una alineación postural conforme a los estándares establecidos.*
- *Mala postura: Se contabiliza el tiempo durante el cual el usuario mantiene una postura que excede los parámetros establecidos.*

- *Tiempo blanco: Los datos de postura no capturan los intervalos de tiempo entre el cambio de una postura a otra. Estos 'tiempos blancos' abarcan desde la latencia de comunicación con el chatbot hasta la demora en procesar los datos. Al medirse en milisegundos, estos breves instantes quedan fuera de las categorías de 'buena' o 'mala postura'. La velocidad de la red influye significativamente en estos tiempos, afectando la fluidez de la interacción con el chatbot.*

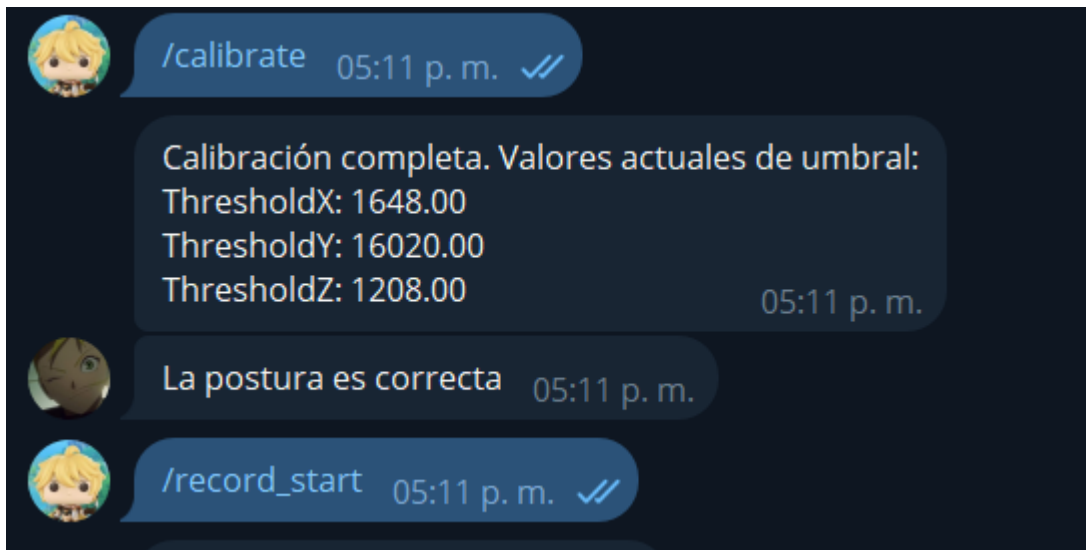


Imagen 26. Comando de inicio de pruebas

La imagen 26 ilustra el proceso de ajuste de los parámetros límite previo al inicio de la recopilación de datos mediante la instrucción '/record_start'.

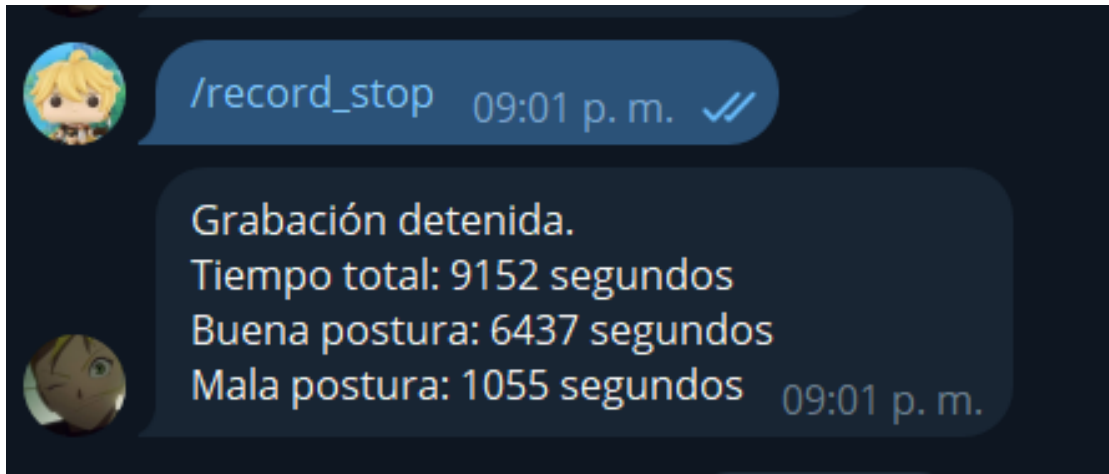


Imagen 27. Resultado de prueba

Como se observa en la imagen 27, la prueba concluye al introducir el comando `'/record_stop'`. Esta acción desencadena el proceso de cálculo del tiempo de ejecución, el cual se presenta en segundos al finalizar la operación.

Para profundizar en la comprensión de los datos experimentales, se optó por una metodología cuantitativa. Los tiempos registrados por cada participante durante las pruebas fueron sistematizados en una planilla de cálculo de Excel. A través de esta herramienta, se buscó identificar posibles correlaciones entre el tiempo empleado y la calidad postural. (ver Tabla 1):

Tabla 1: resultados de las pruebas

Fuente: Elaboración propia

Nota: los valores se obtuvieron en segundos y fueron convertidos al formato (hh:mm:ss)

| Prueba | Calibración | Tiempo Total | Tiempo PC | Tiempo PI | Tiempo B | Porcentaje PC | Porcentaje PI | Porcentaje B |
|--------|--------------------------------------|--------------|-----------|-----------|----------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | ThresholdX: 876.00 ThresholdY: | 1:00:58 | 0:48:15 | 0:01:23 | 0:11:20 | 79.14 | 2.27 | 18.59 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | 13400.00 ThresholdZ: 7824.00 | | | | | | | |
| 2 | ThresholdX: 2388.00 ThresholdY: 15452.00 ThresholdZ: 2752.00 | 1:37:24 | 1:05:32 | 0:14:01 | 0:17:51 | 67.28 | 14.39 | 18.33 |
| 3 | ThresholdX: 1236.00 ThresholdY: 12844.00 ThresholdZ: 8568.00 | 1:03:16 | 0:29:41 | 0:22:58 | 0:10:37 | 46.92 | 36.30 | 16.78 |
| 4 | ThresholdX: 1260.00 ThresholdY: 15796.00 ThresholdZ: 1712.00 | 1:41:38 | 0:38:57 | 0:44:15 | 0:18:26 | 38.32 | 43.54 | 18.14 |
| 5 | ThresholdX: 976.00 ThresholdY: 15324.00 ThresholdZ: 4904.00 | 2:32:30 | 1:41:31 | 0:23:39 | 0:27:20 | 66.57 | 15.51 | 17.92 |
| 6 | ThresholdX: 1828.00 ThresholdY: 15148.00 ThresholdZ: 5268.00 | 1:35:38 | 1:14:55 | 0:02:57 | 0:17:46 | 78.34 | 3.08 | 18.58 |
| 7 | ThresholdX: 788.00 ThresholdY: 13748.00 ThresholdZ: 8256.00 | 1:30:56 | 1:05:21 | 0:10:01 | 0:15:34 | 71.87 | 11.02 | 17.12 |
| 8 | ThresholdX: 368.00 ThresholdY: 15984.00 | 1:46:13 | 0:49:33 | 0:36:57 | 0:19:43 | 46.65 | 34.79 | 18.56 |

| | | | | | | | | |
|----|---|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | ThresholdZ: 2364.00 | | | | | | | |
| 9 | ThresholdX: 4360.00 ThresholdY: 14208.00 ThresholdZ: 4860.00 | 2:32:32 | 1:47:17 | 0:17:35 | 0:27:40 | 70.33 | 11.53 | 18.14 |
| 10 | ThresholdX: 3124.00 ThresholdY: 9372.00 ThresholdZ: 11660.00 | 2:14:39 | 1:26:48 | 0:22:42 | 0:25:09 | 64.46 | 16.86 | 18.68 |

Para visualizar de manera clara los resultados de cada prueba, se optó por representar los datos en gráficos circulares, donde cada porción representa una categoría de tiempo. Se asignó un color específico a cada categoría: verde para las posiciones correctas, rojo para las incorrectas y gris para las no registradas. Esta representación gráfica permitió identificar de forma rápida y sencilla las tendencias en los datos.

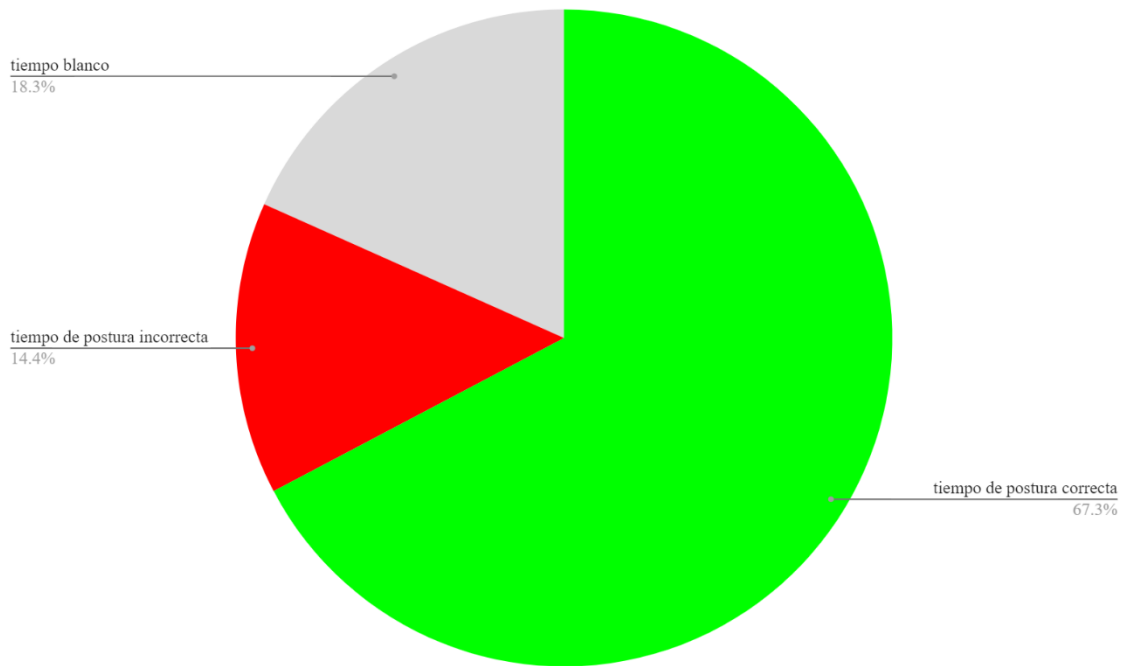


Imagen 28. Gráfica de prueba 2

La imagen 28, correspondiente a la segunda prueba, revela un patrón interesante. El usuario, mientras realizaba sus tareas habituales, mostraba una marcada atención hacia las notificaciones de su aplicación de mensajería instantánea. En particular, se observó que al adoptar posturas relajadas o incorrectas, reaccionaba casi instintivamente a las alertas sonoras, consultando su dispositivo para luego corregir su postura corporal.

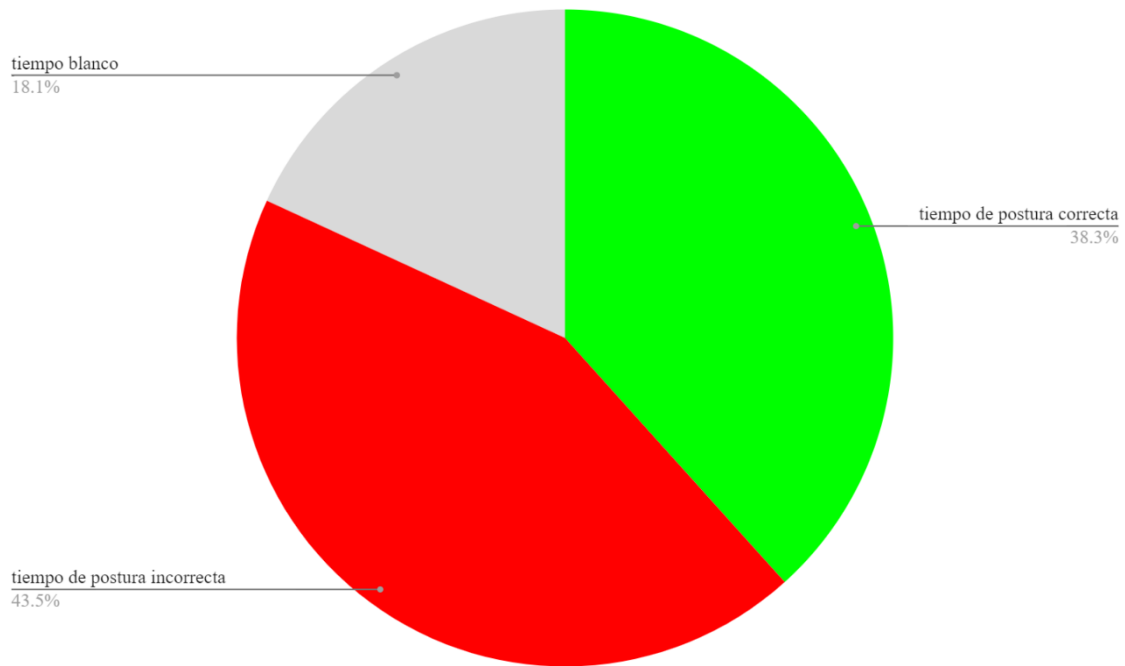


Imagen 29. Gráfica de prueba 4

Los datos de la prueba 4 (imagen 29) revelan que la retroalimentación visual inmediata, a través del LED, resultó en correcciones posturales momentáneas. Sin embargo, el análisis de los resultados indica que la persistencia de posturas incorrectas fue mayor en esta condición. Esto sugiere que un sistema de notificación automatizado, como el bot, podría ser más eficaz para promover una corrección postural a largo plazo, al proporcionar una retroalimentación constante y personalizada.



Imagen 30. Prueba en usuarios

Es fundamental considerar la técnica de colocación del dispositivo para garantizar su funcionamiento óptimo. La imagen 30 ilustra un ejemplo práctico de cómo se insertó el dispositivo en un participante durante la prueba.



Imagen 31. Wearable sin calibrar

En la imagen 31, el maniquí porta el dispositivo en modo de espera. Aunque la unidad está encendida y lista para su uso, la falta de calibración impide la visualización de cualquier contenido en la pantalla. Esta condición es común en dispositivos electrónicos antes de su configuración inicial.

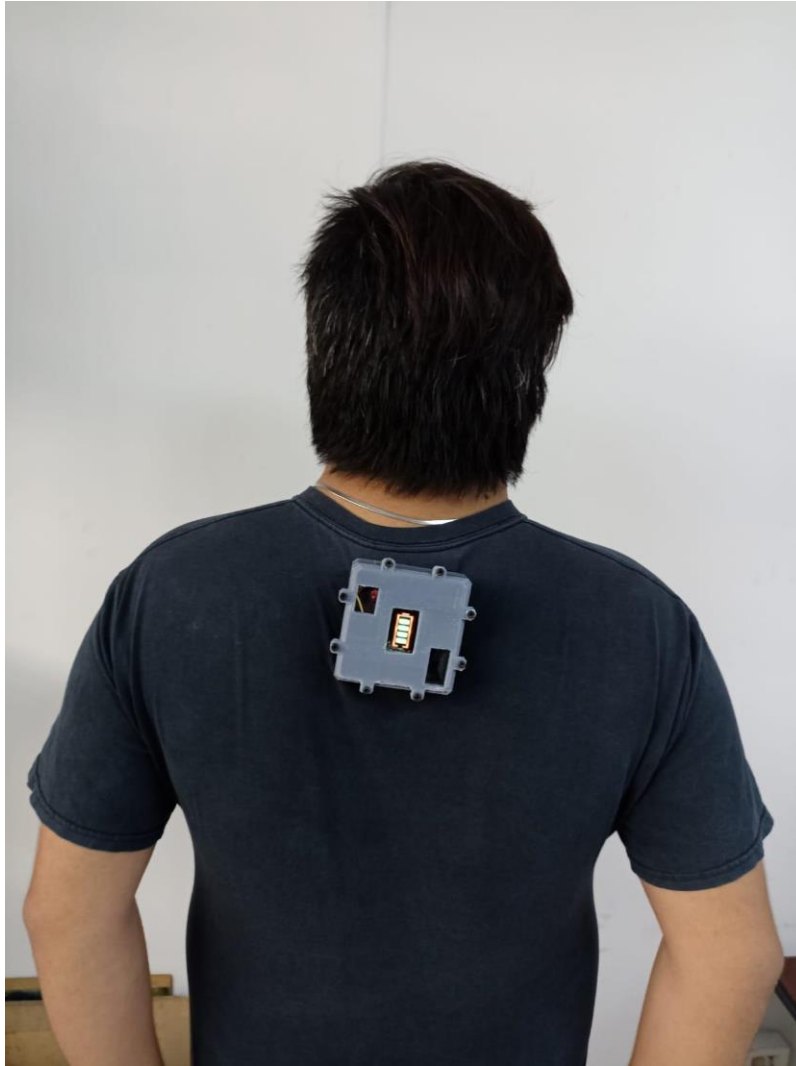


Imagen 32. Wearable calibrado y en postura correcta

En la ilustración 32 se observa a un individuo utilizando el dispositivo wearable. Esta imagen se emplea como referencia para calibrar el dispositivo cuando el sujeto se encuentra en una posición postural correcta. La ausencia de luz en el LED de notificación evidencia una postura alineada.



Imagen 33. Wearable en postura incorrecta

Como se aprecia en la imagen 33, el usuario asumió una postura inapropiada, lo que provocó que el dispositivo emitiera una señal de advertencia. Esta señal se materializó en el encendido de un LED rojo, un indicador visual claro y conciso.

Conclusiones

Tras la finalización del proyecto, pude constatar que el dispositivo wearable desarrollado constituye un importante paso adelante en la aplicación de la tecnología para prevenir y mejorar la salud, con un enfoque particular en la corrección postural.

Los resultados de las pruebas indican que el dispositivo desarrollado satisface los criterios ergonómicos y funcionales establecidos en los objetivos iniciales.

Los datos recolectados indican que el dispositivo presenta un alto grado de adaptabilidad, satisfaciendo las demandas de diversos entornos. Ya sea en el hogar, realizando tareas de limpieza, o en un ambiente laboral de oficina, el dispositivo se amolda de forma óptima a las características de cada actividad.

El dispositivo destaca por su integración de sensores avanzados, entre los que se encuentra el giroscopio, evidenciando una implementación tecnológica exitosa.

Gracias a sus múltiples interfaces de comunicación, el ESP32 facilita la implementación de sistemas de seguimiento de movimientos, ofreciendo soluciones flexibles y adaptables.

La implementación de un sistema de chat que proporciona alertas sobre la postura, tanto correcta como incorrecta, resulta crucial. Esta herramienta ofrece una retroalimentación instantánea al usuario, permitiéndole ajustar su posición en tiempo real. Los resultados obtenidos sugieren una implementación exitosa de estos mecanismos de alerta y corrección.

Además, un uso consciente y prolongado de estos dispositivos puede contribuir significativamente a mejorar el bienestar psicológico y físico de los usuarios, enriqueciendo su calidad de vida.

Los usuarios de dispositivos vestibles podrían experimentar una reducción en los problemas musculoesqueléticos derivados de posturas inadecuadas, gracias a las funcionalidades preventivas que estos dispositivos ofrecen.

En resumen, los datos obtenidos avalan la efectividad del dispositivo como un wearable de vanguardia, concebido para optimizar la postura mediante herramientas tecnológicas innovadoras.

El proyecto culminó con éxito en el desarrollo de un dispositivo innovador diseñado para corregir la postura corporal. Al abordar las causas subyacentes de diversas afecciones musculoesqueléticas, este dispositivo representa un avance significativo en la promoción de la salud preventiva.

Asimismo, cabe mencionar que este dispositivo portátil no solo proporciona correcciones instantáneas de la postura, sino que igualmente acumula información detallada sobre los patrones posturales de los usuarios a lo largo del tiempo. Esta función de registro y evaluación de datos abre el camino a futuras innovaciones y mejoras del dispositivo, permitiendo adaptar las notificaciones y sugerencias a las características únicas de cada persona.

Al brindar una evaluación postural precisa y personalizada, esta tecnología puede contribuir significativamente a mejorar la calidad de vida de las personas,

previniendo problemas de salud relacionados con una mala postura y promoviendo hábitos saludables que perduren en el tiempo.

Al abrir nuevas fronteras de investigación, esta tecnología tiene el potencial de transformar la rehabilitación física y la ergonomía, mejorando significativamente la calidad de vida de las personas.

Bibliografía y referencias

- Salgado, X. A. A., & Tamayo, F. J. E. (2024). ESCUELA DE INGENIERÍAS Tema: SISTEMA BASADO EN IoT PARA LA GESTIÓN DE ESPACIOS EN ESTACIONAMIENTOS VEHICULARES.
- Carlos Andrés, R. B. (2024). SICMONIC: Sistema de apoyo y seguimiento a pacientes con isquemia cardiaca mediante la integración de dispositivos en salud móvil inteligente.
- Mosquera, J. J. M. (2024). Metodología CDIO para el Desarrollo de Productos Electrónicos del Internet de las Cosas. *Revista de investigación multidisciplinaria, Iberoamericana*, (3).
- Sica, M., Varnosfaderani, O. T., Crowe, C., Kenny, L., Bocchino, A., O'Flynn, B., ... & Barton, J. (2024). Design of a multi-sensors wearable system for continuous home monitoring of people with Parkinson's. *IEEE Access*.
- Gaya-Morey, F. X., Manresa-Yee, C., & Buades-Rubio, J. M. (2024). Deep learning for computer vision based activity recognition and fall detection of the elderly: a systematic review. *Applied Intelligence*, 54(19), 8982-9007.)
- Villanueva Pelayo, M. (2024). Diseño y construcción de una órtesis de codo inteligente.
- Izu, L., Scholtz, B., & Fashoro, I. (2024). Wearables and Their Potential to Transform Health Management: A Step towards Sustainable Development Goal 3. *Sustainability*, 16(5), 1850.
- Valverde Tapia, J. C., & Yupanqui Pumachapi, D. J. (2024). Diseño y construcción de un prototipo de secado con energías alternativas para la producción de charqui en zonas alto andinas de la región Cusco.
- Herrera Córdova, L. M. (2024). *El uso de dispositivos móviles en la terapia ocupacional con adultos mayores* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales, Carrera de Trabajo Social).
- Castillo, O. G., Sardaños, C. R., Farrés, N. P., Dominguez, L. B., & Blanco, G. P. (2024). Protocolo para validez diagnóstica de la escala Neuropathy Disability Score adaptada a la Atención Primaria. Estudio piloto: Adaptation of the Neuropathy Disability Score scale to Primary Care. Pilot study protocol. *NURE Investigación*.
- Cerón, A. R., Arenas, J. M. O., Porras, M. P. C., Guerrero, S. R., Duffo, P. A., & González, T. A. T. (2024). Metodología COIL y salud digital: Transformando la educación superior y la atención médica en la era digital COIL methodology and digital health: Transforming higher education and healthcare in the digital age. *COMITÉ EDITORIAL*, 18.

- Del Mar Sánchez-Sánchez, M., Campos-Asensio, C., & Arias-Rivera, S. (2024). Cargas de trabajo de las enfermeras en cuidados intensivos. Validez de su estimación mediante aplicaciones para dispositivos móviles y comparación con nursing activities score. Revisión sistematizada de la literatura. *Enfermería Intensiva*, 35(3), 229-241.
- Salehzadeh Niksirat, K., Velykoivanenko, L., Zufferey, N., Cherubini, M., Huguenin, K., & Humbert, M. (2024). Wearable activity trackers: A survey on utility, privacy, and security. *ACM Computing Surveys*, 56(7), 1-40.
- Rios, I. D. P. (2024). Wearable:¿ Lujo o Necesidad? Una Reflexión Desde Fisioterapia. *Revista Observatorio del Deporte*, 10(1), 29-46.
- Gil Vera, P. C., & Valverde Avilés, I. L. (2024). *Diseño e implementación de un controlador PID mediante sistemas embebidos para un prototipo de cámara de estabilidad acelerada* (Bachelor's thesis). Dickey, J. P., McGinnis, R. S., & Christiansen, C. L. (2010). Effects of posture on back muscle endurance and fatigue. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(1), 104-111.
- Benancio Beteta, K. I., Romero Loreña, K. A., & Solis Dueñas, J. A. (2024). Expectativa de confianza y uso de Inteligencia Artificial para el cuidado de enfermería del Hospital Hermilio Valdizán–Huánuco, 2023.
- Kang, S. H., Lynch, L., Wolf, E., & Mirka, G. A. (2024). Quantifying the effectiveness of a passive trunk-support exosuit at reducing erector spinae muscle fatigue during a quasi-static posture maintenance task. *Ergonomics*, 67(9), 1257-1266.
- Lan, L. Y. L., Kumar, W. M., Liu, L. S., Roberts, A. K., Chen, S., & Snyder, M. (2024). Biomarkers in precision medicine. In *Biosensors in Precision Medicine* (pp. 35-57). Elsevier.
- Canali, S., Ferretti, A., Schiaffonati, V., & Blasimme, A. (2024). Wearable Technologies for Healthy Ageing: Prospects, Challenges, and Ethical Considerations. *The Journal of Frailty & Aging*, 13(2), 149-156.
- Murugan, R., PANDIAN, S., SAHIL, S. M., & KUMAR, N. (2024). THERAPEUTIC BASED WEARABLE POSTURAL CONTROL SYSTEM FOR LOW BACK PAIN. *i-Manager's Journal on Instrumentation & Control Engineering*, 12(1).
- Idrees, A. R., Kraft, R., Mutter, A., Baumeister, H., Reichert, M., & Pryss, R. (2024). Persuasive technologies design for mental and behavioral health platforms: A scoping literature review. *PLOS Digital Health*, 3(5), e0000498.
- Campos, A. (2024). José Roberto Vega-Baudrit, Manfred Murrell, Allan Campos y Cinthya Cordero. *RAZÓN, PENSAMIENTO*, 5(2).
- Stambor, Y. R. (2024). Sonificación interactiva de las cualidades del movimiento en bailarinas para el aprendizaje de ballet.

- Larrosa Quesada, J. (2024). *Desarrollo de aplicaciones Wearables con enfoque en Realidad Mixta para la mejora del bienestar emocional mediante el uso de datos fisiológicos* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Ibáñez Castillo, M. (2024). Wireless based wearable patient health monitoring system using ESP32 (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Zagal, S. D., Estrada, C. Y. G., & Pedraza, J. P. (2024). Sistema de monitoreo de signos vitales de manera remota, empleando IoT y dispositivos móviles. *Revista Electrónica sobre Tecnología, Educación y Sociedad*, 11(21).
- Yalli, J. S., Hasan, M. H., & Badawi, A. (2024). Internet of things (iot): Origin, embedded technologies, smart applications and its growth in the last decade. *IEEE Access*.
- Imbaquingo Salazar, E. P. (2024). *Estrategias comunitarias en prevención de afectaciones osteomusculares en agricultores–Asociación Sembrando Futuro Parroquia Los Andes* (Bachelor's thesis).
- Vida, M. N. M. (2024). Impacto de la medicina 4.0 en el sistema de salud. *Revista de Derecho de la Seguridad Social, Laborum*, (Extraordinario 6), 345-375.
- Mayol, J. (2024). Soluciones digitales y las ciencias de la salud. *Cirugía Española*, 102, S3-S7.
- Navarrete Chávez, G. (2024). Medicina 5P (personalizada, predictiva, preventiva, participativa y poblacional): Un nuevo paradigma en salud pública y prevención. *INSPIP. Revista Ecuatoriana de Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud Pública*, 8(24).
- Azizan, A., Ahmed, W., & Razak, A. H. A. (2024). Sensing health: a bibliometric analysis of wearable sensors in healthcare. *Health and Technology*, 14(1), 15-34.
- Bhongade, A., Gupta, R., Prathosh, A. P., & Gandhi, T. K. (2024). ResPara-Net: Respiration Parameter Estimation Using Wearable Single Inertial Measurement Unit Sensor and Deep Learning. *IEEE Sensors Journal*.
- Valencia Ramirez, K. J., & Parco Zamora, L. X. (2024). *Diseño y construcción de una plataforma móvil para el control de motores HoverBoard mediante conexión bluetooth para la carrera de Ingeniería Automotriz Sede Quito Campus Sur* (Bachelor's thesis).
- Núñez Cuenca, M. B. (2024). *Test de Boston para identificar posibles síndromes de túnel carpiano en población trabajadora de EUROFARMA SA* (Master's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2024).
- Guillén Climent, S. (2024). Tecnología aplicada en neurorehabilitación: evaluación de la usabilidad y efectividad de terapias asistidas por tecnologías avanzadas en pacientes afectados por un ictus.
- Kim, S. B., Kim, S. H., Lim, O. B., Yi, C. H., & Han, G. H. (2024). Effects of a posture correction feedback system on neck and trunk posture and muscle activity during computer work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 99, 103540.

- Rivera-Escobar, M. F. (2024). Impacto de la tecnología wearable en la prevención de lesiones musculoesqueléticas [Impact of wearable technology on the prevention of musculoskeletal injuries]. *Sanitas. Revista arbitrada de ciencias de la salud*, 3(2), 20-26.
- Velez, L. B., & Alcivar, K. S. (2024). Consumo de ancho de banda en internet de las cosas en las conexiones domésticas. *593 Digital Publisher CEIT*, 9(3), 852-861.
- Sarmiento Cueva, K. (2024). LA INTERVENCIÓN DE LAS TIC EN EL CONTROL POSTURAL.
- Don't Walk, O. J. B., Paullada, A., Everhart, A., Casanova-Perez, R., Cohen, T., & Veinot, T. (2024). Opportunities for incorporating intersectionality into biomedical informatics. *Journal of Biomedical Informatics*, 154, 104653.
- Rana, R., & Bhambri, P. (2024). Integrating Sensor, Actuators, and IoT for Smart Healthcare in Post-COVID-19 World. In *Smart Healthcare Systems* (pp. 146-155). CRC Press.
- Tovar Ticne, H. A. (2024). Detección de anomalías del sueño con soporte en una pulsera inteligente y algoritmos de IA.
- Carrasco Sampedro, I. M. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de telecomunicaciones para la vigilancia de UAV'S de nueva generación* (Bachelor's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo).
- Escandón Pesántez, C. R. (2024). *Desarrollo de un sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas en motores de encendido provocado a través del sensor MAP para dispositivos móviles en plataforma Android* (Bachelor's thesis).
- Sitompul, E., Prabowo, A. S., Tarigan, H., & Suhartomo, A. (2024). Design of an Arduino-Based Boat Roll Stabilizer System Prototype Using MPU6050 Sensor. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 8(2), 217-233.
- Vida, M. N. M. (2024). Impacto de la medicina 4.0 en el sistema de salud. *Revista de Derecho de la Seguridad Social, Laborum*, (Extraordinario 6), 345-375.
- MacKenzie, I. S. (2024). Human-computer interaction: An empirical research perspective.
- Del Castillo, L. A. E., Olivares, L. A. F., López, S. A. R., Hernández, N. C., Mendias, E. Q., & Legleu, C. E. C. (2024). Physical activity and sedentary lifestyle: changes during confinement due to the COVID-19 pandemic according to age and non-communicable disease. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (59), 193-201.
- Tohidi Joghani, L. (2024). User interface for injury prediction: Focusing on car crashes.