

Desarrollo de un chaleco inteligente con retroalimentación vibrotáctil para la corrección postural

*Blanca Liliana Topón Visarrea
<https://orcid.org/0000-0001-5307-5450>
blanca.toponvisarrea4187@upse.edu.ec
Universidad Estatal Península de Santa Elena
Salinas, Ecuador

Ricardo Cajo Díaz
<https://orcid.org/0000-0002-0371-2439>
rcajo@upse.edu.ec
Universidad Estatal Península de Santa Elena
Salinas, Ecuador

*Correspondence author: blanca.toponvisarrea4187@upse.edu.ec

Received (03/09/2024), Accepted (16/01/2025)

Resumen: - Los trastornos musculoesqueléticos causados por malas posturas afectan la salud laboral. En esta investigación, se evaluó el puesto de trabajo de personal administrativo usando el método RULA, obteniendo un nivel de riesgo 2, lo que indica la necesidad de ajustes ergonómicos. Para mitigar este riesgo, se diseñó y evaluó un chaleco con retroalimentación postural vibrotáctil, basado en la plataforma Arduino y un sensor acelerómetro para medir las inclinaciones laterales (ax) y frontales (az) del usuario. El sistema emplea el microcontrolador Seeed Studio XIAO ESP32 S3, sensor MPU6050 y actuadores vibratorios para las señales de corrección. Se implementó un protocolo de tres fases: (1) familiarización, (2) práctica para identificar estímulos, y (3) evaluación prolongada. Los resultados mostraron que las inclinaciones se mantuvieron dentro de los rangos de corrección y que la frecuencia de correcciones disminuyó, lo que indica que los usuarios ajustaron su postura de manera autónoma, reduciendo el riesgo de trastornos musculoesqueléticos.

Palabras clave: ergonomía, háptica, retroalimentación vibrotáctil, corrección postural.

Development of a smart vest with vibrotactile feedback for postural correction

Abstract. - Musculoskeletal disorders caused by poor posture affect occupational health. In this study, the workstations of administrative personnel were evaluated using the RULA method, yielding a risk level of 2, which indicates the need for ergonomic adjustments. To mitigate this risk, a vibrotactile postural feedback vest was designed, based on an Arduino platform and an accelerometer sensor to measure the user's lateral (ax) and frontal (az) inclinations. The system employs the Seeed Studio XIAO ESP32 S3 microcontroller, an MPU6050 sensor, and vibration actuators for correction signals. A three-phase protocol was implemented: (1) familiarization, (2) practice to identify stimuli, and (3) prolonged evaluation. The results showed that the inclinations remained within the correction range, and the frequency of corrections decreased, indicating that users autonomously adjusted their posture, thereby reducing the risk of musculoskeletal disorders.

Keywords: ergonomics, haptics, vibrotactile feedback, postural correction.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los trastornos musculoesqueléticos relacionados con posturas inadecuadas representan un reto significativo para la salud ocupacional. Estas afecciones son comunes en entornos laborales sedentarios, donde las largas horas frente a una computadora contribuyen al desarrollo de dolores crónicos y discapacidades. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos trastornos constituyen una de las principales causas de ausentismo laboral y pérdida de productividad [1]. En respuesta a esta problemática, las tecnologías vestibles han emergido como una solución innovadora. Los sistemas hápticos, en particular, han demostrado ser efectivos para proporcionar retroalimentación vibrotáctil que facilita la corrección de posturas en tiempo real. Estos dispositivos aprovechan sensores para monitorear la postura del usuario y generan señales vibrotáctiles que lo alertan cuando se detectan desviaciones de una posición ergonómicamente adecuada [2].

En el campo de la ergonomía, el desarrollo de dispositivos vestibles ha avanzado gracias a tecnologías como los acelerómetros, que permiten medir orientación y posición de manera precisa. Estos sensores, combinados con microcontroladores accesibles, han demostrado ser efectivos para reducir riesgos ergonómicos y mejorar la salud y el bienestar de los trabajadores [3]. Este trabajo estuvo centrado en el desarrollo de un chaleco inteligente con retroalimentación vibrotáctil para la corrección de posturas en el personal administrativo académico. A diferencia de otras soluciones como los exoesqueletos [4], este chaleco propone un enfoque más portable y menos intrusivo, diseñado para el uso continuo en entornos de oficina. Además, se plantea como una herramienta educativa que empodera a los usuarios para adoptar hábitos posturales saludables mediante el aprendizaje basado en retroalimentación inmediata.

En esta investigación se realizó un estudio estructurado dividido en varias etapas clave. En primer lugar, se identificó el nivel de riesgo ergonómico al que están expuestos los trabajadores mediante el análisis RULA (Rapid Upper Limb Assessment), una herramienta ampliamente utilizada para evaluar posturas laborales y determinar su nivel de riesgo [5], [6]. En segundo lugar, se diseñó un sistema de retroalimentación, que incluyó tanto el desarrollo del circuito eléctrico como la programación del sistema para garantizar su funcionamiento. En la tercera etapa, se diseñó el experimento que permitió ejecutar las pruebas necesarias para evaluar la efectividad del sistema. Finalmente, se procedió al análisis de los resultados obtenidos, lo que permitió validar la propuesta y extraer conclusiones sobre su impacto en la mejora del puesto de trabajo.

II. DESARROLLO

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son un conjunto de trastornos que afectan a los músculos, huesos y articulaciones del cuerpo, y son una de las principales causas de enfermedades laborales. Estos trastornos suelen originarse por posturas inadecuadas mantenidas durante períodos prolongados de tiempo. Un TME puede generar dolor crónico, fatiga, y en algunos casos, incapacidad laboral. Las zonas del cuerpo más afectadas por las malas posturas incluyen el cuello, la espalda, los hombros y las muñecas, siendo estas las áreas de mayor riesgo en entornos laborales sedentarios como oficinas, donde el personal suele permanecer sentado durante horas sin realizar pausas activas [7].

Una mala postura se refiere a la alineación incorrecta del cuerpo, que genera estrés en los músculos, ligamentos y articulaciones. Esta desalineación no solo provoca incomodidad, sino que con el tiempo puede generar problemas serios de salud, como lesiones y fatiga muscular. Las malas posturas incluyen posiciones en las que la espalda está encorvada, los hombros son encogidos o las muñecas y el cuello se mantienen en ángulos incómodos durante la ejecución de tareas repetitivas o sedentarias[8].

El método RULA (Rapid Upper Limb Assessment) es una herramienta ergonómica utilizada para evaluar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas relacionadas con las posturas de las extremidades superiores durante las tareas laborales. Se clasifica el riesgo en varios niveles, considerando aspectos como la postura

corporal, la actividad muscular y las fuerzas aplicadas sobre los músculos y las articulaciones. La evaluación se realiza observando la posición del cuerpo, el tipo de movimiento y la carga física, asignando un puntaje a cada factor para determinar el riesgo ergonómico global. Este puntaje guía las recomendaciones de corrección y ajustes en los puestos de trabajo [9], [10].

La retroalimentación vibrotáctil es una tecnología que utiliza vibraciones para transmitir información sensorial al usuario a través del tacto. Esta tecnología se basa en la estimulación de la piel mediante actuadores que generan vibraciones, las cuales son percibidas por los receptores sensoriales en la piel, transformándolas en señales que el cerebro interpreta. Es una forma de sustitución sensorial, en la que el tacto reemplaza otras formas de percepción, como la visual o auditiva, para proporcionar una respuesta en tiempo real. La retroalimentación vibrotáctil puede ser utilizada en una amplia gama de aplicaciones, desde la navegación en entornos complejos hasta la corrección de comportamientos posturales. En el ámbito de la salud y la ergonomía, esta tecnología se ha empleado para mejorar la postura, ofreciendo una solución no invasiva para la corrección de la alineación corporal sin interrumpir las actividades cotidianas [11].

Investigaciones previas han demostrado la efectividad de estos sistemas para la mejora de la postura. Ishac y Suzuki [12] desarrollaron un cojín inteligente con retroalimentación vibrotáctil para corregir la postura, cuyo uso permitió a los usuarios mantener una postura adecuada, reduciendo el riesgo de dolor y lesiones. De manera similar, ÖZDEN [13] creó un corsé inteligente que alerta al usuario mediante señales de vibración cuando adopta una postura incorrecta al estar sentado. Este sistema, al igual que otros dispositivos de retroalimentación vibrotáctil, demuestra la efectividad de las tecnologías portátiles para la corrección postural en entornos de trabajo sedentarios. Por otro lado, Zheng y Morrell [14] exploraron el uso de retroalimentación vibrotáctil para guiar la postura del usuario en tiempo real, con un enfoque particular en la postura en la que se mantenían las extremidades superiores durante actividades repetitivas.

Este trabajo pertenece a la línea de investigación conocida como interacción humano computador, por ende, se toman en cuenta los criterios relacionados para el diseño y desarrollo del chaleco. Mediante el uso del microcontrolador Seeed Studio XIAO ESP32 S3 el cual incluye conectividad Bluetooth y Wi-Fi y el sensor MPU6050 que combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio, el chaleco monitoriza en tiempo real las inclinaciones laterales (ax) y frontales (az) del usuario, proporcionando correcciones a través de señales de vibración. Esta tecnología aplicada buscó reducir significativamente el riesgo de trastornos musculoesqueléticos en el entorno de trabajo.

El chaleco tiene como objetivo proporcionar una solución ergonómica y no invasiva para la corrección postural, permitiendo a los usuarios recibir retroalimentación inmediata sin interrumpir su flujo de trabajo. El sistema se activa cuando el sensor detecta inclinaciones fuera de los rangos establecidos, enviando señales vibrotáctiles. Estas señales son interpretadas por el usuario como una alerta, indicándole la necesidad de ajustar su postura. Esta interacción continua promueve una mayor conciencia postural y facilita la corrección de las posturas de manera autónoma, lo que ayuda a prevenir lesiones a largo plazo.

III. METODOLOGÍA

A. Identificación de riesgos de los trabajadores

Se aplicó el método RULA (Rapid Upper Limb Assessment) para evaluar las posturas laborales de los participantes. A través de este análisis, se detectaron niveles de riesgo ergonómico que varían de moderados a altos en distintas áreas del cuerpo del personal evaluado, destacando la necesidad de implementar intervenciones correctivas. Este análisis no solo permitió identificar patrones posturales críticos, sino que también proporcionó información clave para el diseño de estrategias específicas dirigidas a mejorar la salud y el bienestar de los trabajadores.

En la figura 1 se observan los pasos que se siguieron para aplicar el método RULA:

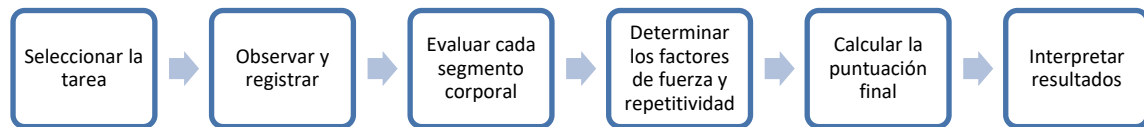


Fig. 1. Método RULA.

El trabajo de escritorio realizado por los docentes fue analizado para evaluar las posturas adoptadas y los riesgos ergonómicos involucrados. Como se observa en las Fig. 2 y 3, el análisis incluyó las posiciones de brazos, muñecas, cuello, tronco y piernas durante las tareas cotidianas. El estudio reveló que la puntuación total RULA para el trabajo realizado fue de 3, lo que corresponde a un nivel de riesgo 2. Este nivel sugiere la necesidad de ajustar de forma progresiva las estaciones de trabajo. En el caso de los docentes, se identificó una carga significativa en el cuello, el tronco, y las extremidades superiores, particularmente las muñecas (Fig. 2). Esto pone de manifiesto una mayor exposición a riesgos ergonómicos, como la fatiga, que puede derivar en lesiones a largo plazo si no se toman medidas correctivas adecuadas. Las imágenes muestran las posturas adoptadas por los participantes durante las actividades laborales, ayudando a comprender las posturas que requieren ajustes.

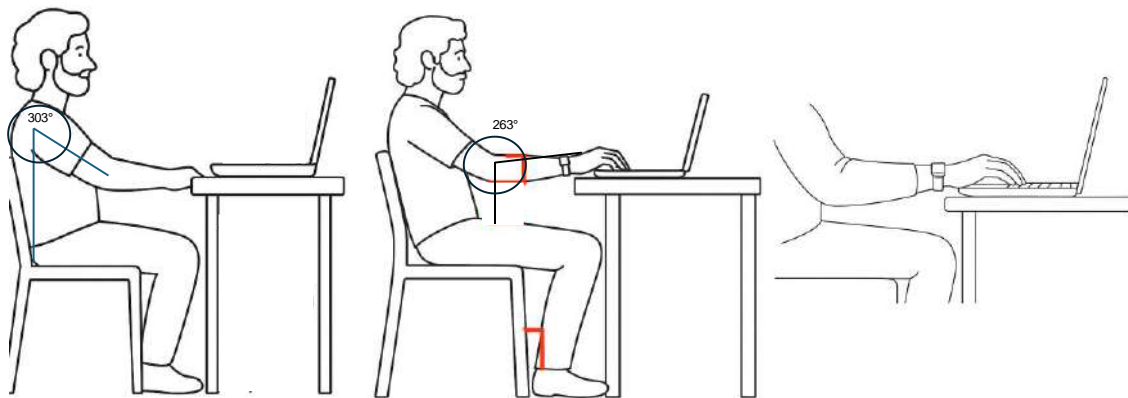


Fig. 2. Postura de los brazos, los antebrazos y de las muñecas percibidas en los participantes

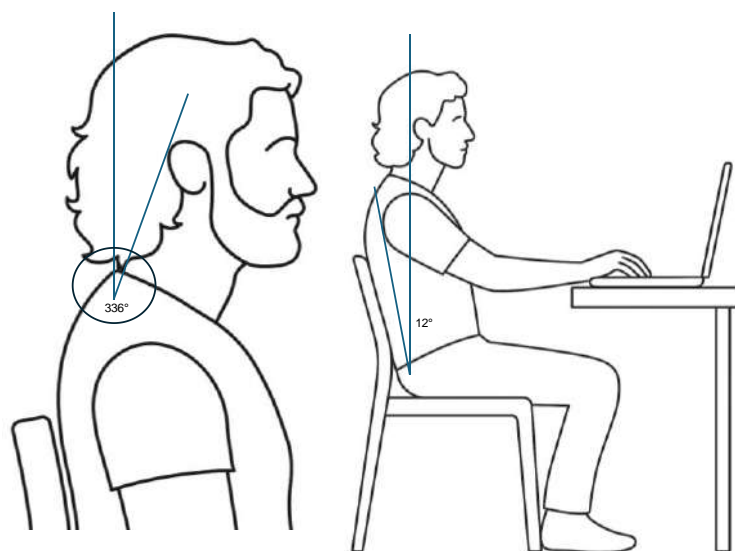


Fig. 3. Postura del cuello y del tronco percibidas en los participantes

Esta problemática surge debido al diseño inadecuado del mobiliario, así como el cansancio acumulado por permanecer sentado durante largas jornadas de trabajo sin pausas activas. Estas condiciones exponen a los trabajadores a riesgos ergonómicos que pueden desencadenar trastornos musculoesqueléticos, afectando tanto su bienestar como la productividad de la organización.

B. Interfaz de retroalimentación vibrotáctil

El sistema se conformó por un controlador Seeed Studio XIAO ESP32 S3, un acelerómetro MPU6050, un actuador tipo motor vibratorio y una batería recargable de 3.3 V, como se muestra en la Fig.4.

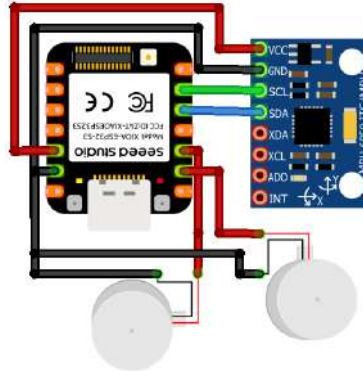


Fig. 4. Estructura de la interfaz de retroalimentación vibrotáctil.

En la figura 4 se pudieron conocer las ecuaciones de ingeniería asociadas al sistema, descritas en (1) a la (5) En cualquier nodo del circuito:

$$\sum I_{entrada} = \sum I_{salida} \quad (1)$$

Aplica, por ejemplo, al nodo VCC donde confluyen:

$$I_{VCC} = I_{ESP32} + I_{MPU6050} + I_{motores} \quad (2)$$

Además, las Leyes de Kirchhoff de Voltaje (la alimentación completa), para un lazo cerrado que va desde la batería a través del ESP32, sensores y motores, se cumple:

$$\sum V_{fuentes} = \sum V_{caídas} \quad (3)$$

Entonces:

$$V_{bat} = V_{ESP32} + V_{MPU6050} + V_{motores} + V_{cables} \quad (4)$$

Para la comunicación I2C digital entre el MPU6050 y el ESP32 se tiene:

$$SDA(t), SCL(t) = \text{función de lectura/escritura digital} \quad (5)$$

Este intercambio se rige por señales de reloj (SCL) y datos (SDA), con lógica binaria de 3,3 V.

Este conjunto se integró en un chaleco de diseño tipo mariposa el cual se adapta al cuerpo (fig. 5). La figura muestra un diagrama esquemático de un dispositivo vestible diseñado con un sistema de retroalimentación háptica. El dispositivo consta de varios componentes organizados jerárquicamente. En la parte superior se encuentra un acelerómetro MPU-6050, encargado de detectar movimiento y orientación. Este sensor envía información a un controlador Seeed Studio XIAO ESP32S3, que actúa como la unidad central de procesamiento.

Desde el controlador, se activa un actuador que consiste en un motor vibratorio, proporcionando retroalimentación háptica al usuario. Todo el sistema es alimentado por una batería recargable de 3.3 V, lo cual sugiere que el dispositivo es portátil y autónomo. Este diseño es adecuado para aplicaciones en ergonomía, monitoreo de posturas o incluso en realidad virtual y aumentada.

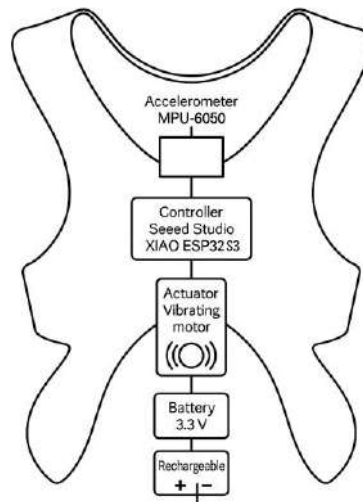


Fig. 5. Composición de los elementos del chaleco.

El software para el microcontrolador Seeed Studio XIAO ESP32 S3 fue desarrollado en Arduino IDE, utilizando el lenguaje "C" para programar el sistema de retroalimentación y calibración del sensor que tiene un rango de trabajo de -32768 y +32767 que se leen a través del bus I2C. El diagrama de flujo del sistema se muestra en la Fig. 6, que, al superar los umbrales establecidos para la inclinación lateral 12900 izquierda, 15800 derecha y -5630 a -4290 frontal, el sistema activa un temporizador de 100 ms para asegurar que solo se envíen señales de vibración si la postura incorrecta persiste durante el tiempo suficiente. Esta función fue diseñada para evitar activaciones innecesarias y garantizar una retroalimentación adecuada en el momento oportuno. Se probaron diferentes algoritmos para ajustar el tiempo de respuesta del sistema a las posturas erróneas. Se utilizaron tres tipos de tactos para proporcionar diferentes tipos de retroalimentación: una vibración para la inclinación hacia la izquierda, otra para la inclinación hacia la derecha, y una última para la inclinación hacia adelante. Cada señal vibrotáctil es fácil de distinguir y permite al usuario ajustar su postura de manera autónoma, mejorando así la ergonomía y reduciendo el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos.

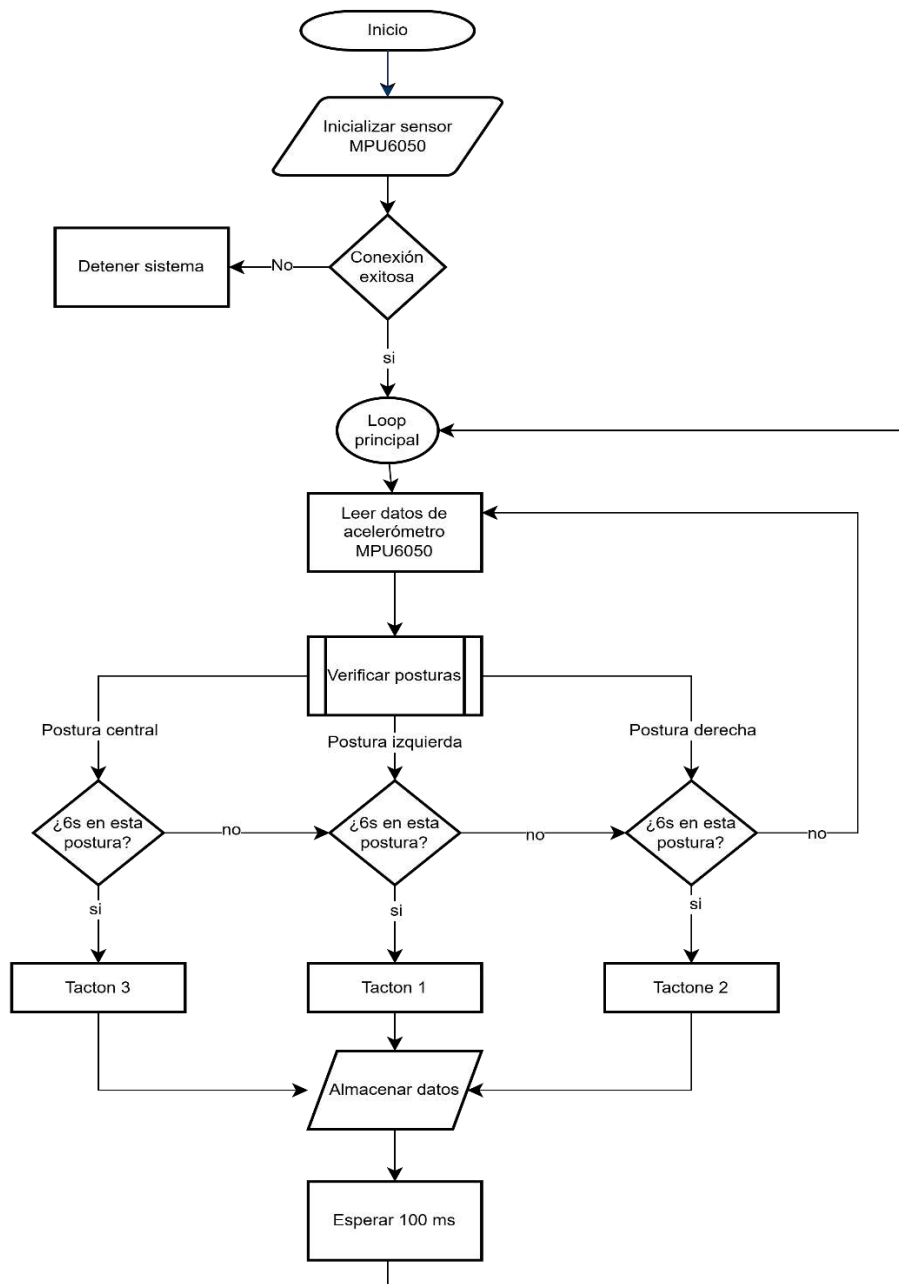


Fig. 6. Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema de corrección postural.

Los datos fueron almacenados durante el tiempo de uso para poder realizar un seguimiento detallado de las posturas del usuario. Los datos que se registraron correspondían a los valores analógicos de posición del sensor MPU6050 y la cantidad de veces que la persona adoptó una mala postura. Este enfoque combina la detección automática en tiempo real con herramientas de monitoreo, proporcionando un sistema para la corrección y el estudio de la postura. En la Fig. 7 se pueden observar los componentes del sistema de retroalimentación vibrotáctil.

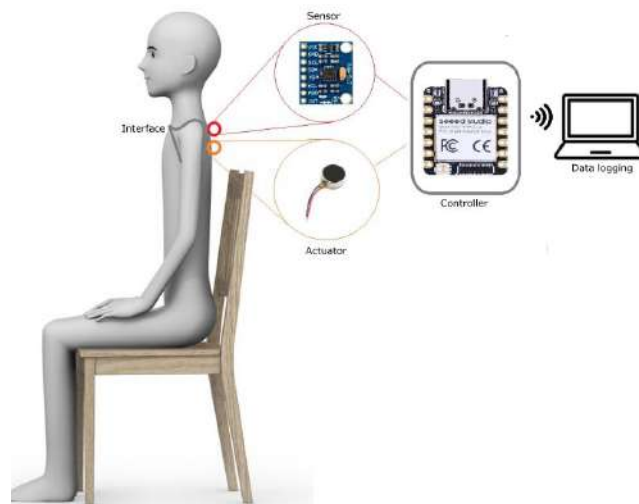


Fig. 7. Sistema de retroalimentación vibrotáctil.

La figura 8 presenta la simulación del comportamiento dinámico del sistema integrado en el chaleco inteligente de corrección postural, desde una perspectiva de diseño de ingeniería. En ella se observa la evolución del ángulo de inclinación postural a lo largo del tiempo, comparado con el margen operativo y el límite de error establecido para el sistema. Este tipo de representación permite validar el funcionamiento del dispositivo ante diferentes condiciones de uso, evidenciando que el sistema responde adecuadamente

dentro de los rangos definidos. El diseño considera parámetros críticos como el umbral de activación del actuador vibratorio, determinado por los márgenes establecidos, lo cual refleja una ingeniería orientada a la funcionalidad, seguridad y confort del usuario. Esta simulación respalda la toma de decisiones durante la etapa de desarrollo, permitiendo ajustar el comportamiento del controlador en función de los datos proporcionados por el acelerómetro MPU6050.

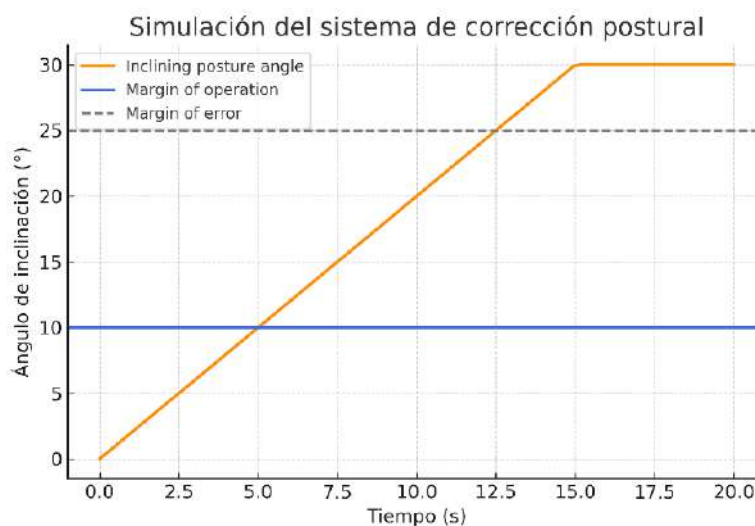


Fig. 8. Simulación en Phytón del sistema desarrollado

En la Fig. 9 se muestra al usuario utilizando el chaleco. A la derecha de la imagen, se presenta el modelo en 3D del dispositivo, desarrollado en el software Fusion 360. El diseño de los componentes internos, que incluía el microcontrolador Seeed Studio, el sensor MPU6050 y los actuadores vibratorios, fue optimizado para garantizar una distribución compacta dentro de la caja protectora. Este diseño permitió la comodidad del usuario, a la vez que mantuvo la funcionalidad de los componentes en un espacio reducido, y facilitó la integración en el chaleco sin interferir con el movimiento del usuario.

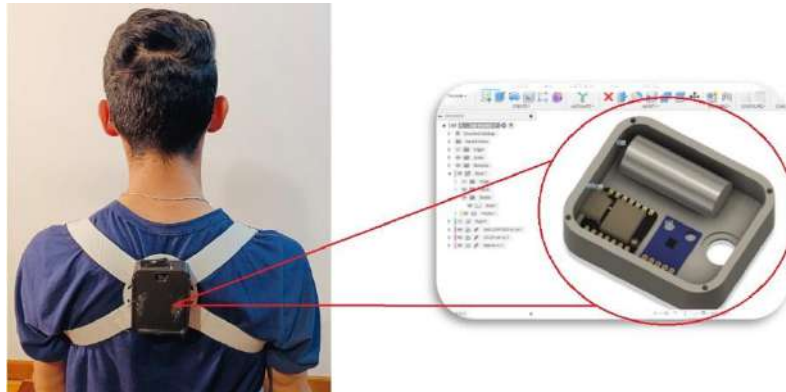


Fig. 9. Usuario utilizando el chaleco y diseño del modelo 3D del dispositivo.

C. Experimento principal

El experimento se desarrolló en tres etapas, para evaluar la eficacia del chaleco en la corrección postural. La primera etapa fue de familiarización, donde los participantes fueron introducidos al uso del chaleco y a la percepción de los estímulos vibrotáctiles generados. Se utilizaron tres tipos de tactones que indicaban desviaciones posturales hacia el frente, la izquierda y la derecha. Durante esta fase, cada participante experimentó los diferentes estímulos de manera individual, recibiendo explicaciones detalladas sobre su significado y su asociación con la corrección postural. Este proceso permitió que los usuarios se acostumbraran a la retroalimentación vibrotáctil y comprendieran plenamente la funcionalidad del dispositivo antes de proceder a las siguientes fases.

La segunda fase fue de práctica, y en esta se buscó evaluar la capacidad de los participantes para identificar correctamente los estímulos vibrotáctiles en un entorno controlado. Se presentaron cada uno de los tres tactones en un orden aleatorio y se solicitó a los participantes que indicaran la dirección del estímulo percibido. Además, se evaluó la claridad de la percepción mediante una escala Likert de 0 a 4, donde 0 representó una percepción imperceptible y 4 una percepción muy clara. Esta etapa permitió validar la precisión del sistema y la comprensión de los estímulos generados por el chaleco.

La tercera etapa consistió en una evaluación prolongada donde se analizó la efectividad del chaleco en condiciones reales de uso. Un voluntario utilizó el chaleco durante al menos una hora mientras realizaba sus actividades cotidianas. El sistema, equipado con un acelerómetro, monitoreó continuamente la postura del usuario y activó los estímulos vibrotáctiles en caso de detectar desviaciones. Durante este período, se registraron las posiciones adoptadas por los participantes y se analizó su respuesta ante la retroalimentación háptica, observando si corregía su postura tras recibir los estímulos. Adicionalmente, se capturaron imágenes a intervalos regulares con el propósito de documentar los cambios posturales a lo largo del tiempo. Los datos recopilados permitieron evaluar la efectividad del sistema y la percepción del usuario sobre su funcionamiento en un contexto real de trabajo.

IV. RESULTADOS

En la primera fase del experimento, se buscó familiarizar a los participantes con el chaleco. Los resultados mostraron que los participantes se adaptaron rápidamente a los estímulos, logrando identificar las señales de manera adecuada. La retroalimentación vibrotáctil fue percibida como clara, sin reportarse dificultades en la identificación de las señales. Además, los participantes expresaron sentirse cómodos con el chaleco, lo que indica que el diseño era adecuado para su uso prolongado.

Durante la segunda fase, los participantes fueron evaluados en su capacidad para identificar la dirección de los estímulos vibrotáctiles. Cada uno de los tres tactones (izquierda, derecha y frontal) se presentó en un orden aleatorio, y los participantes debían señalar la dirección de la inclinación detectada.

Los resultados mostraron una precisión del 100% en la identificación de los estímulos, lo que confirma que los usuarios pudieron reconocer de manera consistente la dirección de la corrección postural indicada por el chaleco. Además, en una escala Likert de 0 a 4, la claridad en la percepción de los estímulos fue calificada con un promedio de 4, lo que demuestra que los estímulos fueron claramente percibidos por los participantes.

En la tercera etapa, conocida como evaluación prolongada, se recopilieron los datos analógicos del sensor MPU-6050, que midió la inclinación del cuerpo en tiempo real. Como se puede observar en la Fig. 8 los datos obtenidos de la inclinación lateral (ax) mostraron variaciones significativas, con valores que oscilaron entre 10000 y 22000, superando los límites establecidos de 12900 (izquierda) y 15800 (derecha) en múltiples ocasiones. Se identificaron picos pronunciados en los intervalos de tiempo de 1490s a 1520s y de 1660s a 1690s, lo que sugiere episodios de mala postura, posiblemente relacionados con ajustes ergonómicos inadecuados o compensaciones corporales involuntarias. Por otro lado, la inclinación frontal (az) mostró una mayor estabilidad, con la mayoría de los valores dentro del rango aceptable de -5630 a -4290, aunque algunas desviaciones temporales fueron detectadas al inicio, lo que podría haber estado asociado a la fatiga postural o ajustes iniciales al chaleco. A lo largo de la evaluación, se observó un patrón de correcciones posturales que disminuyó progresivamente (Fig.10), lo que sugiere que los participantes lograron adaptarse a las señales de retroalimentación del chaleco y ajustaron su postura de manera autónoma.

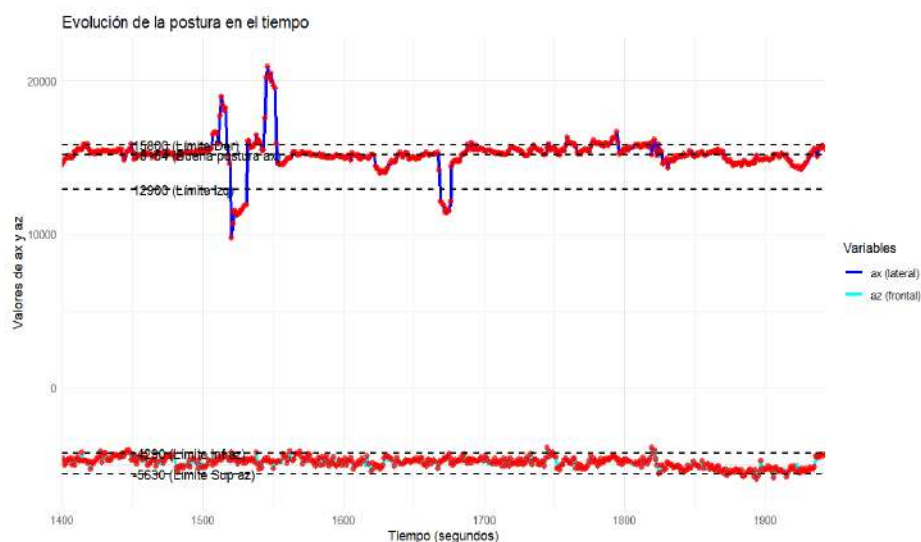


Fig. 10. Resultado del uso prolongado del chaleco por parte de un voluntario

CONCLUSIONES

El sistema demostró ser una herramienta ergonómica efectiva para la corrección postural, promoviendo una reducción en la frecuencia de desviaciones y facilitando la adopción de hábitos posturales saludables. Los voluntarios reportaron una percepción clara y oportuna de los estímulos vibrotáctiles, indicando una alta aceptación y comodidad en su uso prolongado.

El análisis de los datos recopilados evidencia que la inclinación lateral y frontal se mantuvo mayormente dentro de los límites ergonómicamente aceptables, reflejando una mejora en la estabilidad postural y, en consecuencia, una reducción del riesgo ergonómico en el puesto de trabajo. Se recomienda ampliar este análisis a múltiples usuarios para evaluar patrones posturales más generales y explorar el impacto del chaleco en diferentes entornos y actividades, con el objetivo de mejorar su efectividad en la prevención de lesiones y la optimización de la ergonomía.

REFERENCIAS

- [1] L. Punnett and D. H. Wegman, "Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 14, no. 1, pp. 13–23, Feb. 2004, doi: 10.1016/j.jelekin.2003.09.015.
- [2] Q. Wang, W. Chen, and P. Markopoulos, "Smart Garment Design for Rehabilitation," 2015, pp. 260–269. doi: 10.1007/978-3-662-48645-0_22.
- [3] A. Causo, Z. Ding, S. H. Yeo, and I.-M. Chen, "Strategies in vibrotactile feedback for improved upper arm posture mapping and replication using inertia sensors," in 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), IEEE, Jul. 2011, pp. 683–688. doi: 10.1109/AIM.2011.6027123.
- [4] J. J. Villarejo et al., "Sistema de biofeedback para rehabilitación de marcha asistida por un exoesqueleto," *Rev Ing Biomed*, vol. 12, no. 24, pp. 47–57, Dec. 2018, doi: 10.24050/19099762.N23.2018.1079.
- [5] D. C. Rodríguez Romero, A. E. Dimate García, D. C. Rodríguez Romero, and A. E. Dimate García, "Evaluación de riesgo biomecánico y percepción de desórdenes músculo esqueléticos en administrativos de una universidad Bogotá (Colombia)," *Investigaciones Andina*, vol. 17, no. 31, pp. 1284–1299, 2015, Accessed: Mar. 12, 2025. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81462015000201284&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- [6] A. E. Dimate, D. C. Rodríguez, A. I. Rocha, A. E. Dimate, D. C. Rodríguez, and A. I. Rocha, "Percepción de desórdenes musculoesqueléticos y aplicación del método RULA en diferentes sectores productivos: una revisión sistemática de la literatura," *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, vol. 49, no. 1, pp. 57–74, Mar. 2017, doi: 10.18273/REVSAL.V49N1-2017006.
- [7] "Estudio descriptivo sobre las condiciones de trabajo y los trastornos musculo esqueléticos en el personal de enfermería (enfermeras y AAEE) de la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos y Neonatales en el Hospital Clínico Universitario de Valladolid." Accessed: Mar. 17, 2025. [Online]. Available: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2018000200161.
- [8] P. Montuori et al., "Assessment on Practicing Correct Body Posture and Determinant Analyses in a Large Population of a Metropolitan Area," *Behavioral Sciences*, vol. 13, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/BS13020144.
- [9] Y. I. Rodríguez-Ruiz and C. I. Guevara-Velasco, "Artículo original ERGONOMÍA EMPLEO DE LOS MÉTODOS ERIN Y RULA EN LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE ESTACIONES DE TRABAJO/ ASSESSMENT OF WORKSTATIONS USING ERIN AND RULA ERGONOMIC TOOLS".
- [10] "Método RULA - Rapid Upper Limb Assessment." Accessed: Mar. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>.
- [11] "Dispositivo háptico vibrotáctil inalámbrico para asistencia de actividades motoras | Visión electrónica." Accessed: Mar. 18, 2025. [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/13310>.
- [12] K. Ishac and K. Suzuki, "A Smart Cushion System with Vibrotactile Feedback for Active Posture Correction," 2018, pp. 453–459. doi: 10.1007/978-981-10-4157-0_76.
- [13] M. A. ÖZDEN, E. ACAR, H. YILDIZ, M. GÜNER, and M. PEKEDİS, "A Vibro-Haptics Smart Corset Trainer for Non-Ideal Sitting Posture," *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 32, no. 4, pp. 304–313, Dec. 2022. doi: 10.32710/tekstilvekonfeksiyon.994444.
- [14] Ying Zheng and J. B. Morrell, "A vibrotactile feedback approach to posture guidance," in 2010 IEEE Haptics Symposium, IEEE, Mar. 2010, pp. 351–358. doi: 10.1109/HAPTIC.2010.5444633.