

Estimación de la frecuencia cardiaca en condiciones de conducción simulada mediante un sensor piezoeléctrico PVDF-ZnO acoplado a un sistema en chip ESP32

Carmen Guadalupe Salinas Reyes^{1*}, Rafael González Landaeta², Manuel Iván Rodríguez Borbón³, Amanda Carrillo Castillo⁴

Resumen

Este proyecto presenta el desarrollo de un sistema innovador para la detección de actividad cardíaca en condiciones de conducción simulada, orientado a mejorar la seguridad vial y prevenir riesgos cardiovasculares. La propuesta consiste en un sensor piezoeléctrico flexible elaborado con películas delgadas de PVDF dopadas con ZnO, acoplado a un sistema embebido ESP32. El objetivo es estimar la variabilidad de la frecuencia cardíaca mediante algoritmos implementados en Python, que incluyen filtrado digital, detección de picos y cálculo de métricas fisiológicas. La caracterización del sensor se realizará mediante técnicas como DRX, FTIR y PFM, mientras que su morfología será evaluada con MEB para garantizar uniformidad y estabilidad. Este diseño ofrece ventajas frente a dispositivos clínicos tradicionales, al permitir un monitoreo continuo, no invasivo y adaptable a cinturones de seguridad, sin interferir en la actividad del usuario. Su aplicación potencial abarca simuladores de manejo, neuroergonomía y sistemas preventivos en entornos automotrices, contribuyendo a la identificación temprana de estados de fatiga, estrés y alerta.

Palabras Clave

Conducción simulada – Frecuencia cardiaca – PVDF – ZnO – Sensor piezoeléctrico

^{1,2,3,4}Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

***Autor de correspondencia:** al258291@alumnos.uacj.mx

Programa académico

Maestría en Tecnología

Fecha de presentación

20 y 27 de noviembre de 2025

Financiamiento

SECIHTI (CVU 2157821)

Institución responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Eventos académicos

10.º Coloquio de Posgrados del IIT, 1.º Congreso Internacional de las Fronteras de las Ingenierías

Conflicto de interés

Sin conflicto de interés declarado

Referencias

1. Chang, G., Zhang, Y., Wang, Y., & Li, H. (2024). PVDF/ZnO piezoelectric nanofibers designed for monitoring of internal micro-pressure. *RSC Advances*, 14(17). <https://doi.org/10.1039/D3RA08713A>
2. Mariscal, V. M., Rodríguez, J. A., & Torres, L. (2024). *MediSigns Connected: ESP32 based wireless monitoring system for medical applications*. *INBI Proyectos Modulares*. Recuperado de: <https://sites.google.com/view/pmbiomedica/medisigns-connected-esp32-based-wirelessmonitoring-system-for-medical-app>
3. García, J. L., Fernández, M., & Pérez, A. (2024). Sistema detector de fatiga en la conducción. Universidad de Vigo. Recuperado de: <https://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/2664/P09.pdf>

CITACIÓN: Salinas Reyes, C.G., González Landaeta, R., Rodríguez Borbón, M.I., & Carrillo Castillo, A. (2026). Estimación de la frecuencia cardiaca en condiciones de conducción simulada mediante un sensor piezoeléctrico PVDF-ZnO acoplado a un sistema en chip ESP32 [Fronteras de la Ingeniería y Transformación Tecnológica]. *Memorias Científicas y Tecnológicas*, 5(1), 85-86.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema para la detección de la actividad cardíaca. Consiste en un sensor piezoeléctrico flexible a base de PVDF dopado con ZnO, acoplado a un sistema en chip ESP32. El propósito es estimar la variabilidad de la frecuencia cardíaca en conducción simulada, como medida preventiva en contexto automatizado donde se experimentan estados de alerta, fatiga o estrés. Para mejorar la fase β se plantea utilizar DRX y FTIR, mientras que, la respuesta piezoeléctrica con PFM. En un estudio previo, se llevará a cabo a caracterización del sensor, el cual mostrará estabilidad en el MEB. Su implementación en cinturones de seguridad en automóviles puede permitir un monitoreo continuo sin interferir en la actividad del usuario. Por lo tanto, puede ser útil, también, en seguridad vial, neuroergonomía y prevención cardiovascular. El desarrollo de esta propuesta se puede integrar en simuladores de manejo permitiendo valorar los cambios en la actividad cardíaca de los pilotos en condiciones de conducción simulada.

Palabras clave – Conducción simulada, Frecuencia cardíaca, PVDF – ZnO, Sensor piezoeléctrico.

RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

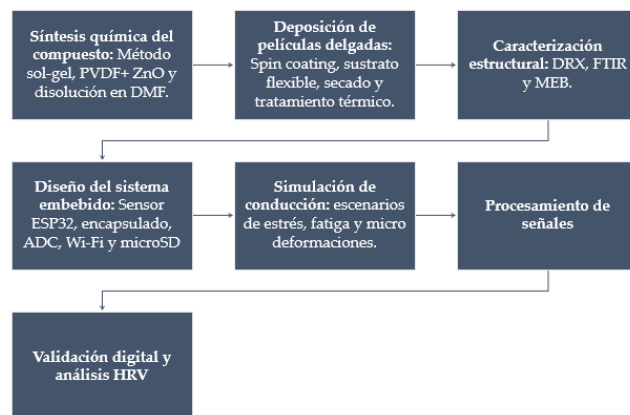
El monitoreo fisiológico en movimiento es fundamental para la detección temprana de alteraciones cardiovasculares en entornos operativos como la conducción vehicular, donde estados de alerta, fatiga y estrés pueden desencadenar eventos agudos no diagnosticados (WHO, 2025). Aunque dispositivos ambulatorios como el Monitor Automático de Presión Arterial (MAPA) permiten registrar presión arterial y frecuencia cardíaca durante la actividad cotidiana, su uso prolongado se ve limitado por rigidez estructural, incomodidad y dependencia de infraestructura clínica (Esquirol et al., 2020).

Los sensores piezoeléctricos flexibles basados en fluoruro de polivinilideno (PVDF) dopado con óxido de zinc (ZnO) ofrecen una alternativa no invasiva, ligera y autoalimentada, con sensibilidad superior a 140 mV/N y tiempos de respuesta menores a 100 ms, adecuados para la detección de microvariaciones fisiológicas en condiciones dinámicas (Zhang et al., 2025). Su integración en superficies como cinturones de seguridad permite adquirir señales fisiológicas en tiempo real sin interferir con la actividad del usuario ni requerir contacto directo con la piel. Este estudio presenta la síntesis y validación funcional de un sensor PVDF-ZnO acoplado a un sistema embebido ESP32.

OBJETIVO

Diseñar un sensor piezoeléctrico basado en películas delgadas de PVDF – ZnO, capaz de detectar en tiempo real parámetros fisiológicos del conductor, como el ritmo cardíaco, con el fin de contribuir a la mejora de la seguridad vial mediante la identificación temprana de estados de fatiga o estrés.

METODOLOGÍA



CONCLUSIONES

El sensor piezoeléctrico PVDF-ZnO mostró, en simulaciones, sensibilidad suficiente para detectar frecuencia cardíaca en condiciones dinámicas. A diferencia del MAPA clínico, esta propuesta permite monitoreo continuo y no invasivo, integrado en cinturones automotrices. El diseño con ESP32 se inspira en sistemas de telemetría biomédica como los utilizados en la FIA, con potencial para prevenir eventos cardiovasculares en simuladores de manejo y entornos industriales sin acceso a evaluación médica constante.

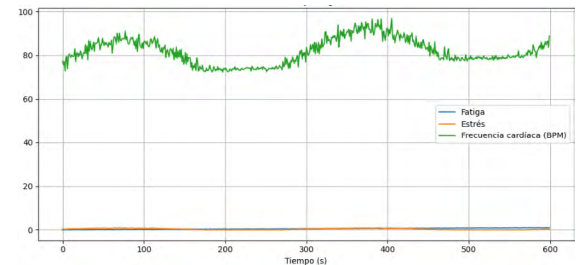


Figura 1. Simulación de estrés, fatiga y frecuencia cardíaca en conducción prolongada.

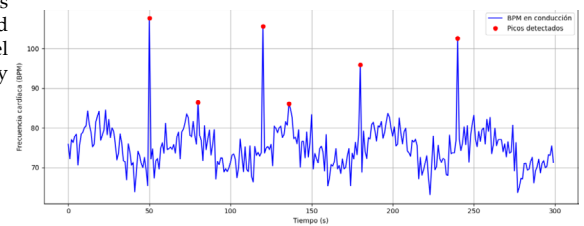


Figura 2. Simulación de picos de frecuencia cardíaca durante conducción dinámica.

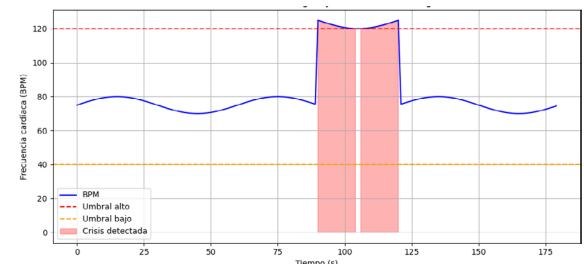


Figura 3. Simulación de crisis fisiológica y activación de emergencia por frecuencia cardíaca elevada.

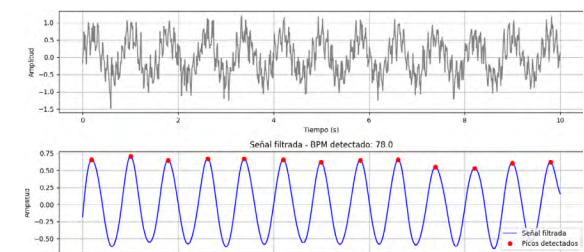


Figura 4. Filtrado digital de señal simulada y detección de picos cardíacos.

REFERENCIAS

- Chang, G., Zhang, Y., Wang, Y., & Li, H. (2024). PVDF/ZnO piezoelectric nanofibers designed for monitoring of internal micro-pressure. *RSC Advances*, 14(17). <https://doi.org/10.1039/D3RA08713A>
- Mariscal, V. M., Rodríguez, J. A., & Torres, L. (2024). MedSigns Connected: ESP32 based wireless monitoring system for medical applications. *INBI Proyectos Modulares*. <https://sites.google.com/view/pmbiomedica/medsigns-connected-esp32-based-wireless-monitoring-system-for-medical-app>
- García, J. L., Fernández, M., & Pérez, A. (2024). Sistema detector de fatiga en la conducción. Universidad de Vigo. <https://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/2664/P09.pdf>