



DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SENSOR DE RITMO CARDÍACO EN EL VOLANTE DEL VEHÍCULO PARA CONOCER LOS SIGNOS VITALES DEL CONDUCTOR

Marimarg Castillo Vieyra

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, unidad Azcapotzalco

mcastillov@ipn.mx

ORCID: 0009-0003-8441-8542

José Victoriano Chávez Aguilar

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, unidad Azcapotzalco

jchavez@ipn.mx

ORCID: 0009-0001-0861-9276

Edgar Jesús Cigarroa González

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, unidad Azcapotzalco

ecigarroag1800@alumno.ipn.mx

ORCID: 0009-0003-8941-8357

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo, el diseño y la simulación de un sistema de monitoreo de ritmo cardíaco que esté integrado en el volante de un vehículo, con el fin de detectar las alteraciones en los signos vitales para reducir y prevenir accidentes. Para la metodología se empleó un sensor óptico basado en el principio de fotopleletismografía, procesado mediante una placa Arduino UNO R3 y visualizado en tiempo real en una pantalla LCD 16x2 con protocolo I2C. El diseño mecánico se realizó en el software SolidWorks 2019, donde se integró una ampliación ergonómica de 25.17 mm en la zona de reposapulgares para asegurar el contacto constante del conductor sin interferir en la conducción. Como resultado, las simulaciones en la placa de Arduino IDE validaron lecturas estables dentro del rango fisiológico de 60 a 100 ppm, obteniendo una medición de prueba de 87 BPM e identificando variaciones críticas de hasta 221 BPM ante posibles anomalías. Se concluye que la implementación de esta tecnología es viable, con un consumo energético bajo de 4 mA, ofreciendo una solución no invasiva y eficiente para reforzar la seguridad automotriz mediante alertas preventivas.

Palabras clave: Ritmo cardíaco, Arduino UNO R3, fotopleletismografía, seguridad automotriz, volante inteligente, prevención de accidentes.



La fatiga, el consumo de sustancias y los distintos problemas de salud, son asociados directamente al incremento de accidentes automovilísticos, a pesar de la constante evolución electrónica de los vehículos, el monitoreo de signos vitales en tiempo real sigue siendo un área poco explorada en la producción masiva. No obstante, entornos de alto rendimiento han marcado el camino: en 2019, la Fórmula 1 hizo obligatorio el uso de guantes inteligentes con sensores de 3 mm para monitorear el pulso y el nivel de oxígeno de los pilotos en situaciones críticas. Esta tendencia subraya la importancia de la frecuencia cardíaca como un indicador clave del estado fisiológico, capaz de reflejar condiciones de estrés, cansancio o paros cardíacos inminentes que comprometen el control de la unidad.

El volante es, junto con los pedales, el elemento primordial de interacción entre el conductor y un automóvil. Debido a que un manejo correcto exige un contacto constante con el aro —específicamente en las posiciones ergonómicas de las "10 y 2"— este componente representa un punto estratégico para la integración de sensores no invasivos. Tecnologías emergentes, como los sensores capacitivos de presencia de manos, ya están siendo exploradas por fabricantes como Mercedes-Benz, sentando las bases para sistemas de monitoreo biomédico más complejos.

Por lo tanto, el presente trabajo propone el diseño y simulación de un sistema de monitoreo de ritmo cardíaco integrado directamente en el volante. La solución utiliza el principio de fotoplethismografía (basado en la detección de variaciones de luz reflejada causadas por el flujo sanguíneo) para adquirir señales eléctricas mediante un sensor óptico. El objetivo es generar alertas preventivas ante alteraciones en los signos vitales del usuario, contribuyendo de

manera directa a la reducción de colisiones y al fortalecimiento de la seguridad vial.

Metodología y desarrollo del sistema.

La metodología se articuló en tres fases secuenciales: *selección y caracterización de componentes, implementación de arquitectura electrónica y validación experimental en entorno simulado*. Este enfoque permitió asegurar la precisión de un sistema de monitoreo continuo y no invasivo.

1. Diseño del sistema de medición.

El núcleo del sistema utiliza el principio de fotoplethismografía, un método óptico que detecta cambios volumétricos en el flujo sanguíneo mediante la emisión y absorción de luz sobre la piel.

Sensor Óptico: Se seleccionó el sensor de luz ambiental APDS-9008, el cual posee una responsividad espectral similar a la del ojo humano, ideal para captar variaciones lumínicas causadas por el pulso cardíaco y convertirlas en señales eléctricas analógicas.

Procesamiento y Visualización: El circuito integra una placa Arduino UNO R3 (basada en el microcontrolador ATmega328) para la adquisición de datos, y una pantalla LCD 16x2 con módulo I2C para el despliegue de información en tiempo real.

En la figura 1, se aprecia el prototipo funcional, donde el sistema procesa la señal para mostrar lecturas precisas, como el valor experimental de 87 BPM obtenido durante las pruebas.

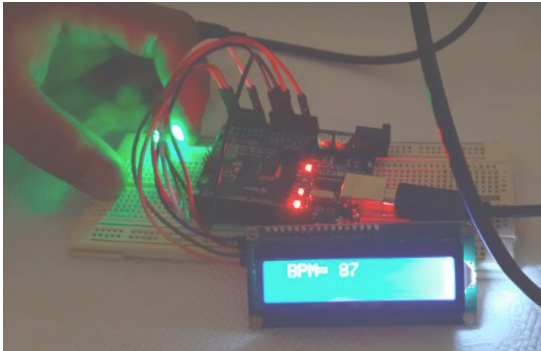


Figura 1. Sensor de pulso cardíaco y pantalla LCD utilizados en el sistema (elaboración propia).

2. Arquitectura electrónica y procesamiento de la señal.

El procesamiento lógico se ejecutó en el entorno Arduino IDE. El microcontrolador realiza una lectura continua de la entrada analógica para ejecutar la detección de picos (latidos) y su posterior conversión a frecuencia cardíaca en pulsaciones por minuto (ppm).

Estabilidad eléctrica: El sensor opera con un bajo consumo de 4 mA a 5V DC, garantizando la eficiencia energética dentro de la cabina vehicular.

Rango de Operación: El algoritmo fue diseñado para obtener valores confiables dentro del rango fisiológico normal de 60 a 100 ppm.

La figura 2, ilustra la simulación de la señal mediante el Serial Plotter, permitiendo verificar la estabilidad y el comportamiento de la onda pulsátil antes de su interpretación digital.

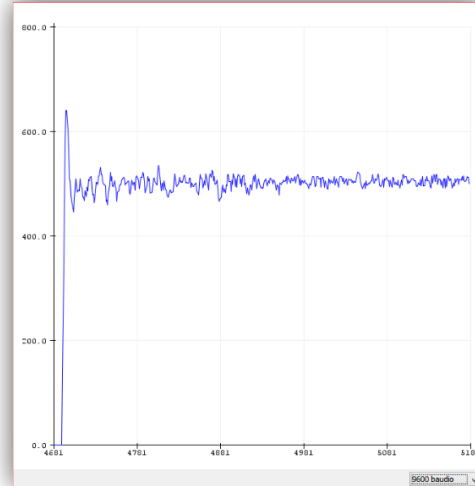


Figura 2. Simulación en Arduino IDE de la lectura del sensor de pulsos (elaboración propia).

3. Ingeniería del volante inteligente.

El diseño mecánico se desarrolló en el software SolidWorks 2019. Se planteó como una modificación ergonómica del volante tradicional, optimizando la interacción conductor-vehículo en las zonas estratégicas de agarre ("10 y 2").

Dimensiones técnicas: Se modeló un volante con un diámetro exterior de 17.32 pulgadas (440 mm) y una empuñadura de 3.5 pulgadas.

Adaptación biomédica: Para garantizar un contacto constante y no invasivo, se diseñó una ampliación de 25.17 mm en la zona de reposapulgares. Esta área (indicada en rojo en el diseño) alberga los sensores ópticos asegurando que la ergonomía del conductor no se vea comprometida.

La propuesta de integración final, que garantiza la funcionalidad total del sistema de medición, se observa en la figura 3.

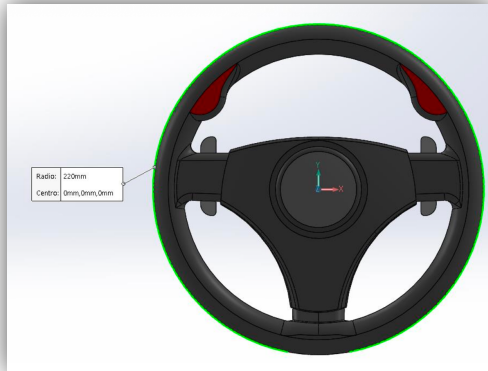


Figura 3. Propuesta de integración del sensor en el volante por medio del software Solidworks (elaboración propia).

4. Pruebas y validación experimental.

Se realizaron diversas pruebas bajo condiciones controladas para evaluar la respuesta del sistema ante variaciones fisiológicas y los resultados demostraron:

Detección de contacto: La precisión depende de la presión constante sobre el sensor; el sistema es capaz de identificar errores de lectura por falta de contacto directo, arrojando valores irreales de hasta 221 BPM que activan alertas de validación.

Alertas de riesgo: El sistema permite programar avisos visuales (LED o mensajes en pantalla) cuando los valores se encuentran fuera del umbral normal, facilitando la detección temprana de fatiga o estrés.

Estabilidad: La señal se mantiene estable bajo condiciones normales de conducción, aunque presenta variaciones ante movimientos bruscos y/o excesivos.

Resultados.

Las pruebas de simulación y validación confirmaron el funcionamiento integral del sistema, desde la adquisición de la señal analógica hasta su despliegue digital. La visualización en tiempo real mediante la pantalla LCD facilitó la interpretación inmediata de los datos biométricos por parte del usuario.

Para la estabilidad y precisión en condiciones de reposo, el sistema arrojó lecturas estables dentro del rango fisiológico normal de 60 a 100 ppm. Se validó una lectura experimental específica de 87 BPM, demostrando la fiabilidad del procesamiento en la placa Arduino.

Para la sensibilidad del sensor se determinó que la precisión depende directamente del contacto permanente y la presión ejercida sobre el sensor óptico. Ante la ausencia de contacto o movimientos excesivos, el sistema identificó lecturas irreales de hasta 221 BPM, lo que permite establecer protocolos de validación de señal para evitar falsos positivos.

En la capacidad de detección del dispositivo, se demostró la sensibilidad para registrar variaciones en la frecuencia cardíaca asociadas a estados de fatiga, estrés o posibles anomalías médicas, validando su potencial como herramienta de monitoreo preventivo en tiempo real.

Análisis económico y oportunidad de mercado.

El desarrollo del sistema implica una inversión total de \$110,135 MXN. Aunque el costo de los materiales electrónicos es altamente competitivo (\$1,735 MXN), el valor agregado reside en la propiedad intelectual y los



honorarios de invención, que ascienden a \$108,000 MXN.

De acuerdo con el Análisis CAME realizado, este costo se traduce en una oportunidad estratégica de alta rentabilidad:

Mercado B2B: El sistema se perfila como un accesorio rentable para empresas de transporte y logística que requieren monitorear el estado de salud de sus choferes durante jornadas extensas.

Valor agregado: La capacidad de prevenir colisiones mediante la detección temprana de somnolencia o síncope representa un ahorro potencial masivo en seguros, reparación de unidades y primordialmente en la preservación de vidas humanas.

Conclusiones

El desarrollo y la finalización de la simulación de este sistema permitieron concluir que es posible obtener de manera correcta los signos vitales mediante la frecuencia cardíaca, estableciendo rangos precisos entre 60 y 100 ppm a través de la programación implementada.

La integración de la tarjeta electrónica Arduino UNO R3 resultó fundamental para la adquisición del pulso, logrando filtrar y amplificar la señal eléctrica emitida por un fototransistor ante las variaciones de intensidad de luz en la punta del dedo, zona estratégica elegida por su baja concentración de tejido y piel fina. Asimismo, la propuesta de diseño realizada en SolidWorks cumplió satisfactoriamente con las dimensiones estándares de los diversos fabricantes, promoviendo simultáneamente que el conductor adopte una técnica de sujeción del volante de manera correcta, lo cual refuerza la ergonomía y seguridad dentro del habitáculo.

Desde una perspectiva financiera, aunque la inversión total se calculó en \$110,135 MXN,

este monto representa un potencial económico significativo y una oportunidad de mercado escalable; el análisis CAME identifica al dispositivo como un accesorio altamente rentable, especialmente para empresas de transporte y logística que busquen monitorear de forma constante el estado físico de sus choferes para prevenir riesgos operativos.

Finalmente, se establece que este sistema de monitoreo continuo constituye una solución preventiva que puede evitar múltiples accidentes de tránsito al proporcionar información biométrica en tiempo real, permitiendo al usuario tomar decisiones socialmente responsables y precautorias ante la detección de fatiga, estrés o alteraciones fisiológicas que comprometan la conducción.

Referencias

- Alianza Automotriz. (2020, 6 de mayo). *La evolución del volante inició en las carreras hace un siglo*. <https://alianzaautomotriz.com/la-evolucion-del-volante-inicio-en-las-carreras-de-hace-un-siglo/>
- Autodaewoospark. (2022). *Sistema eléctrico automotriz*. <https://www.autodaewoospark.com/sistema-electrico-automotriz.php>
- Avago Technologies. (2008). *APDS-9008: Miniature Surface-Mount Ambient Light Photo Sensor [Data Sheet]*. <https://www.broadcom.com/products/optical-sensors/ambient-light-photo-sensors/apds-9008>
- Balbás, A., Domínguez, M., & Espinosa, M. (2019). El volante en la conducción autónoma. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 23(2), 89–101. <https://doi.org/10.5944/ribim.23.2.42245>
- Descubre Arduino. (2016, 5 de septiembre). *Arduino Uno: Partes, componentes, para qué sirve y dónde comprar*. <https://descubrearduino.com/arduino-uno/>
- Farmacia Angulo. (2021, 29 de octubre). *Frecuencia cardíaca: Nivel de pulsaciones recomendado*.



<https://nutricionyfarmacia.es/blog/salud/bienestar/frecuencia-cardiaca-nivel-pulsaciones-recomendado/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas: Consulta interactiva de datos.*

<https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/>

Ministerio de Sanidad. (2014). *Alcohol y conducción: una mezcla peligrosa.*

<https://estilosdevidasaludable.sanidad.gob.es/consu/queSaber/conduccion/home.htm>

RAUTEC. (2022). *Sensor de pulso cardiaco.* Google Sites.

<https://sites.google.com/site/rauteccinvestav/experimentacin/sensor-de-pulso-cardiaco>

Universidad de las Palmas de Gran Canaria. (s. f.). *Fichas técnicas piezas Arduino.*

https://biblioteca.ulpgc.es/sites/default/files/repositorio_de_documento152/biblioteca_ing/ficha-tecnica-piezas-arduino.pdf

Zapata, A. (2022, 18 de enero). *¿Cómo funciona el sistema eléctrico del auto?* Autolab.

<https://autolab.mx/blog/como-funciona-el-sistema-electrico-del-auto/>