

Sistema Inteligente de Monitoreo Biomédico y Ambiental para Vehículos Eléctricos

Castro-Zenil M.S.¹; Peñaloza-Mendoza G.R.²; Carreón-Silva L.M.³

Datos de Adscripción:

Mario Salvador Castro Zenil. TecNM Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Academia de Ingeniería Biomédica. mcastro@itspa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-6880-1072>

Guillermo Rey Peñaloza Mendoza. TecNM Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Academia de Ingeniería Biomédica. grey@itspa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2795-670X>

Luis Miguel Carreón Silva. TecNM Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Academia de Ingeniería Biomédica. lcarreon@itspa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-3544-0765>

Resumen - Se desarrolló un sistema inteligente de monitoreo biomédico y ambiental para vehículos eléctricos, con el propósito de reducir riesgos de accidentes causados por somnolencia o afecciones fisiológicas en el conductor. El sistema emplea una Raspberry Pi 4 como unidad de procesamiento, integrada con sensores para medir frecuencia cardiaca, oxigenación en sangre (MAX30102), temperatura corporal (MLX90614), concentración de dióxido de carbono en cabina (MH-Z19B), y calidad del aire exterior (BME280 y CCS811). La interfaz gráfica fue desarrollada en Python mediante la biblioteca Kivy, permitiendo al conductor visualizar en tiempo real los niveles medidos, recibir alertas visuales y auditivas, así como interactuar por medio de comandos de voz. Se simulan escenarios críticos para evaluar la efectividad del sistema ante concentraciones elevadas de CO₂ y variaciones fisiológicas peligrosas. Durante las pruebas, se simularon condiciones críticas para validar la funcionalidad del sistema ante niveles elevados de CO₂ y variaciones biomédicas anormales. Se evidenció que la acumulación de dióxido de carbono en vehículos sin ventilación activa puede alcanzar niveles peligrosos en pocos minutos, generando riesgos de somnolencia. El sistema emite alertas visuales y auditivas oportunas, mejorando la capacidad de respuesta del conductor. Esta solución propone una herramienta preventiva de bajo costo que puede integrarse en entornos vehiculares inteligentes, aportando a la seguridad vial desde una perspectiva de salud y medio ambiente.

Palabras Clave: Calidad del Aire, Dióxido de Carbono, IoT, Monitoreo fisiológico, Vehículos eléctricos.

Abstract - An intelligent biomedical and environmental monitoring system was developed for electric vehicles to reduce the risk of accidents caused by driver drowsiness or adverse physiological conditions. The system employs a Raspberry Pi 4 as the processing unit, integrated with sensors to measure heart rate, blood oxygen saturation (MAX30102), body temperature (MLX90614), in-cabin carbon dioxide concentration (MH-Z19B), and outdoor air quality (BME280 and CCS811). A graphical user interface was developed in Python using the Kivy library, enabling real-time visualization of measured levels, visual and auditory

alerts, and voice-command interactions. Critical scenarios were simulated to evaluate system effectiveness under elevated CO₂ concentrations and dangerous physiological variations. Results showed that carbon dioxide accumulation in vehicles without active ventilation can reach hazardous levels within minutes, increasing the risk of driver drowsiness. The system delivers timely alerts, enhancing driver response and safety. This low-cost, preventive solution can be integrated into intelligent vehicle environments, contributing to road safety from both health and environmental perspectives.

Keywords: Air quality, Carbon dioxide, IoT, Electric vehicles, Physiological monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

La seguridad vial y el bienestar del conductor se han convertido en prioridades clave en el desarrollo de tecnologías aplicadas a la movilidad, especialmente en el contexto de los vehículos eléctricos. El proyecto busca integrar soluciones que permitan detectar a tiempo condiciones fisiológicas anómalas en el conductor, como somnolencia, fatiga o síntomas de afecciones cardiovasculares y respiratorias, al mismo tiempo que se supervisan los niveles de dióxido de carbono (CO₂) dentro de la cabina y la calidad del aire en el entorno externo del vehículo.

En México, los accidentes provocados por somnolencia representan una causa significativa de siniestros viales. Según la Secretaría de Salud y datos de la Alianza Nacional por la Seguridad Vial (ANASEVI), aproximadamente 30% de los accidentes de tránsito están relacionados con conductores que se quedan dormidos al volante (Autocosmos, 2024). Esta situación se ve agravada en jóvenes de entre 18 y 25 años, quienes presentan patrones de sueño inadecuados que afectan su rendimiento al conducir (AS México, 2024). Asimismo, la fatiga del conductor ha sido identificada como factor contribuyente en al menos el 24% de los accidentes vehiculares, según el Instituto Mexicano del Transporte (IMT, 2018).

Adicionalmente, la calidad del aire en zonas urbanas continúa siendo un factor de riesgo para la salud pública. En regiones con alta densidad vehicular, las concentraciones de partículas PM2.5, ozono y óxidos de nitrógeno pueden superar hasta en 300% los límites establecidos por la OMS, lo que representa una amenaza directa para personas con enfermedades respiratorias crónicas (INECC & SEMARNAT, 2022). Este proyecto también incorpora sensores para la medición de la calidad del aire exterior, permitiendo al sistema alertar al conductor sobre condiciones ambientales potencialmente nocivas durante su trayecto.

La integración de sistemas de monitoreo biomédico y ambiental en vehículos eléctricos representa un paso clave hacia la movilidad segura e inteligente. Estas tecnologías permiten una

toma de decisiones asistida basada en datos en tiempo real, reduciendo riesgos, previniendo accidentes y promoviendo un entorno de conducción más saludable y responsable.

Este tema ha sido desarrollado por los fabricantes, Mercedes-Benz ha implementado sistemas que detectan la fatiga en el conductor, esto a través de sensores en el volante y cámaras que monitorean al conductor, para evaluar su comportamiento, aunque no se ha llevado a la implementación en vehículos comerciales, pues aún se generan muchos falsos positivos.

Por otro lado, la compañía Dongfeng Motor Corporation, fabricante chino, que en Latinoamérica se encuentra en expansión, en su modelo T5 HEV, que circula en las calles de Panamá, cuenta con un sistema de purificación de aire que monitorean la calidad de aire dentro del vehículo.

Una alta concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la cabina de los vehículos afecta negativamente al operador, a partir de concentraciones superiores a 1000 ppm (partes por millón), se tiene sensación de cansancio, somnolencia, provocando episodios de microsueño. Niveles que oscilen entre las 2000 y 5000 ppm, pueden ser las causantes de cefalea, mareos y náuseas.

Uno de los problemas principales es el estrés que genera el medio, es decir, los factores que hoy en día afectan a los conductores. Anteriormente se manejaba con los vidrios de las puertas abajo, y siempre se mantenía ventilado el vehículo, no importaba si iba un camión al lado emitiendo importantes cantidades de humo, se decía que se salía el olor, no todos los vehículos contaban con aires acondicionados que permitieran tener una cabina fresca, la entrada de "aire" era el medio para refrescar a los pasajeros.

Hoy en día, los controles de temperatura, los filtros, incluso los vidrios entintados y con protección UV e incluso la inseguridad pública, han propiciado que las cabinas de los vehículos siempre estén herméticas, y que la circulación del aire sea con ventanas cerradas, es decir, solo se recirculan todos los gases que se producen tanto por el vehículo como por los usuarios.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Para entender la importancia de las mediciones que se realizan en este proceso, vamos a identificar en primer lugar el cálculo del CO_2 generado, así como las diversas variables que vamos a medir.

2.1 Estimación de CO_2

En el interior de un vehículo cerrado, el aumento de la concentración de CO_2 depende de varios factores, como lo son el número de ocupantes, el volumen de la cabina, la tasa de producción de dióxido de carbono por persona y la ventilación.

Para este caso se parte del supuesto que el vehículo mantiene cerrados los ductos de ventilación, es decir sin recirculación activa, que se tienen 4 ocupantes adultos y que cada uno de ellos exhala en promedio 18L/hora de CO_2 . El volumen estimado de

un vehículo compacto es de 3000 litros (3 m^3). La fórmula que vamos a emplear es:

$$CCO_2 = \frac{\text{Volumen } \text{CO}_2 \text{ Acumulado}}{\text{Volumen de la Cabina}} \times 1000000 \quad (1)$$

En la Tabla 1 se puede observar los tiempos que se tarda en alcanzar los niveles de 2000, 5000 y 10000 partes por millón de dióxido de carbono, tomando en cuenta que no existe ventilación activa.

Tabla 1

Descripción de los niveles de CO_2 alcanzados en cabinas vehiculares sin ventilación activa

Nivel CO_2	Volumen equivalente	Tiempo estimado
2,000 ppm	6 litros	~5 minutos
5,000 ppm	15 litros	~12.5 minutos
10,000 ppm	30 litros	~25 minutos

Este escenario puede ocurrir si el conductor no tiene precaución en el manejo de las ventanas y el aire acondicionado, hay que identificar que, aunque este se tenga encendido, si las ventanas están cerradas (el sistema que permite la entrada de aire exterior), la concentración de CO_2 se mantendrá en incremento. En un sistema con ventilación activa, la tasa de renovación de aire es de 10 litros/segundo, lo que representa un cambio completo de aire cada 5 minutos.

En la Tabla 2, podemos observar que, si se mantiene una ventilación activa, el sistema (la cabina) tiende a estabilizar la concentración en valores seguros, es decir menores a 1500 ppm. Por lo tanto, la medición y envío de alertas cuando los valores sean peligrosos es de gran utilidad para la prevención de accidentes viales por somnolencia y cansancio provocados por altas concentraciones de CO_2 .

Tabla 2

Descripción de los niveles de CO_2 alcanzados en cabinas vehiculares con ventilación activa

Tiempo transcurrido	CO_2 aproximado (ppm)	Comentario
0 min	400 ppm	Nivel de aire exterior limpio
5 min	600–700 ppm	Aumento leve, buena calidad de aire
10 min	800–900 ppm	Dentro de límites aceptables
15 min	~1,000 ppm	Se empieza a notar sensación de aire cargado
20 min	1,000–1,200 ppm	Umbral de confort se acerca
>30 min	1,200–1,500 ppm (*)	Equilibrio si no hay recirculación activa

2.2 Parámetros Biomédicos

El monitoreo en tiempo real de parámetros biomédicos como la frecuencia cardiaca, la saturación de oxígeno en sangre (SpO_2), la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria constituye una herramienta crítica para prevenir accidentes automovilísticos asociados a condiciones de salud adversas del conductor. Estos indicadores fisiológicos permiten detectar síntomas tempranos de fatiga, hipoxia, fiebre, estrés o incluso eventos cardiovasculares inminentes, los cuales pueden comprometer seriamente la capacidad de conducción.

Estudios recientes han demostrado que al menos el 10–15% de los accidentes viales graves están relacionados con problemas médicos súbitos del conductor, tales como infartos, hipoglucemia, síncope o crisis hipertensivas (Erenler et al., 2014; Orlova et al., 2020). Además, la fatiga y la somnolencia son factores que afectan el sistema nervioso central y se manifiestan en alteraciones medibles como disminución de la frecuencia respiratoria, variabilidad del pulso y reducción en los niveles de SpO_2 .

La integración de sensores biomédicos no invasivos (como el MAX30102 para SpO_2 y ritmo cardíaco) en el entorno del vehículo eléctrico permite una evaluación continua y sin interferencias, sin necesidad de intervención directa del usuario. Esta tecnología es especialmente útil en rutas prolongadas, vehículos de transporte público o servicios de emergencia, donde la condición del conductor debe permanecer bajo vigilancia constante.

El sistema propuesto se alinea con tendencias actuales de vehículos inteligentes y conectividad biomédica (biomonitoring vehicular), anticipando un futuro en el que la seguridad vial incluirá no solo factores externos, sino también el estado fisiológico del conductor como componente central del sistema de conducción segura. En la Tabla 3, observamos los parámetros que medirá el sistema.

Tabla 3
Parámetros de medición de los Sensores Biomédicos empleados

Parámetro	Importancia	Sensor
Frecuencia cardiaca	Detección de estrés, arritmias o eventos cardíacos	MAX30102 2
Saturación de oxígeno	Prevención de hipoxia, alerta por fatiga o apnea	MAX30102 2
Temperatura corporal	Identificación de fiebre, fatiga térmica o infección	MLX90614

2.3 Parámetros Ambientales

El sistema propuesto integra sensores comerciales como el MQ135 para detectar gases contaminantes como CO_2 , amoníaco y vapores de alcohol, junto con sensores de temperatura y humedad.

La plataforma se basa en una tarjeta ESP32 por sus capacidades de procesamiento y conectividad inalámbrica, permitiendo la recolección y transmisión de datos en tiempo real a una interfaz gráfica. El dispositivo es alimentado por una batería recargable y se diseñó un gabinete ergonómico mediante impresión 3D con filamento reciclado, lo cual refuerza su carácter sustentable.

Se realizaron pruebas en campo en zonas urbanas de alta densidad vehicular, evaluando el comportamiento del sistema ante distintos niveles de contaminación ambiental. Los resultados muestran una buena respuesta del sensor y estabilidad en la transmisión de datos, permitiendo identificar variaciones significativas en la calidad del aire.

III. METODOLOGÍA

3.1 Objetivo General

Desarrollar e integrar un sistema inteligente capaz de monitorear en tiempo real parámetros biomédicos del conductor y la calidad del aire, tanto en el interior como en el exterior de vehículos eléctricos, con el fin de prevenir accidentes relacionados con somnolencia o deterioro de la salud del operador.

3.1 Objetivos Específicos

- Implementar la medición de signos vitales relevantes del conductor (frecuencia cardíaca, oxigenación y temperatura) con sensores biomédicos.
- Incorporar un módulo ambiental que mida niveles de CO_2 en cabina y calidad del aire exterior mediante sensores específicos.
- Diseñar una interfaz táctil intuitiva que despliegue los parámetros monitoreados y emita alertas en caso de riesgo.
- Desarrollar un sistema de control por voz para acceder a funciones críticas sin distraer al conductor.

3.1 Metodología

1. Análisis del problema: Se identificaron estadísticas y reportes que evidencian el impacto de la somnolencia y los eventos médicos como factores en accidentes viales. Asimismo, se reconoció la acumulación de CO_2 en cabinas cerradas como un factor de riesgo fisiológico.

2. Diseño del sistema: El sistema se estructuró en tres módulos principales:

- Módulo biomédico: Responsable de medir parámetros como la frecuencia cardíaca y oxigenación usando sensores tipo MAX30102.
- Módulo ambiental: Integra sensores como MQ135 y BME280 para monitorear CO_2 en cabina y gases contaminantes del aire exterior.
- Módulo de interfaz y alerta: Incluye una pantalla táctil HDMI conectada a una Raspberry Pi, comandos de voz con micrófono USB, y retroalimentación visual y auditiva.

3. Desarrollo de la interfaz: Se programó una interfaz en Python usando Kivy, con botones grandes, íconos y colores

contrastantes. El sistema muestra los datos en tiempo real y lanza alertas sonoras y visuales al superar umbrales críticos.

4. Control por voz: Se incorporó un sistema de reconocimiento de voz que solo se activa al presionar un botón (para evitar escuchas no deseadas), basado en la biblioteca speech_recognition.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema se desarrolló con el lenguaje Python, gracias a las librerías que nos permiten trabajar en la interacción con la pantalla táctil y el cerebro del sistema que es una Raspberry Pi 4. Se utilizó esta computadora de placa única (SBC, por sus siglas en inglés), dado su bajo costo comparado con su rendimiento, la cual incluye un procesador Broadcom BCM2711, Quad-core Cortex-A72 (ARM v8) de 64 bits a 1.5 GHz, con dos puertos micro-HDMI y conexión Bluetooth 5.0 y WiFi 802.11 ac.

Este sistema nos permite no solo usarla como sistema de administración del sistema sino como herramienta para programar en ella a través de su propio sistema operativo Raspbian. Su rol es coordinar la adquisición de datos, procesarlos, mostrar alertas en pantalla y facilitar la interacción con el conductor. En la Tabla 4, se describen las funciones que realiza la Raspberry.

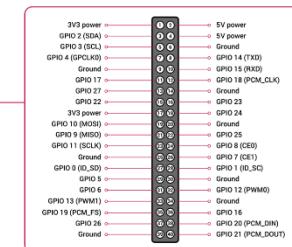
Tabla 4
Descripción de los elementos que integran el sistema integral

Función Principal	Descripción del rol de la Raspberry Pi 4
Adquisición de datos	Recibe información de sensores biomédicos (frecuencia cardíaca, temperatura corporal, SpO ₂) y ambientales (sensor de CO ₂ interno, sensor externo de calidad del aire) conectados por GPIO, I2C o UART.
Procesamiento local	Procesa los datos en tiempo real, detectando niveles anormales (por ejemplo, CO ₂ > 1000 ppm o frecuencia cardíaca elevada). Utiliza algoritmos básicos de decisión y en el futuro puede integrar modelos IA ligeros.
Interfaz de usuario	Controla una pantalla táctil HDMI con Kivy para desplegar datos gráficos, advertencias visuales y botones interactivos. También gestiona la interfaz por comandos de voz para navegación manos libres.
Alertas y seguridad	Genera alertas visuales, auditivas (usando espeak), y en un futuro podrá comunicarse con sistemas del vehículo (por ejemplo, para reducir la velocidad o abrir las ventanas).
Registro de datos	Almacena registros de parámetros críticos en tiempo para análisis posterior o envío remoto. Puede conectarse a una base de datos local o remota.

Conectividad Usa Wi-Fi y Bluetooth para conectar con dispositivos móviles, sensores inalámbricos o plataformas en la nube. También puede integrarse con GPS para georeferenciar la calidad del aire.

En la Figura 1, se observa la configuración de pines de la Raspberry Pi 4, esta diagramación es básica para la conexión de los sensores, a diferencia de una placa Arduino, en la ESP hay que tener precaución sobre la tensión en los pines, pues los GPIO trabajan a 3.3 Volts.

Figura 1
Pines GPIO Raspberry Pi 4



Nota: Tomado de <https://solectroshop.com/es/content/60-5-pines-gpio-y-su-programacion>

Para el desarrollo de la interfaz gráfica del sistema de monitoreo biomédico y ambiental en vehículos eléctricos, se utilizó Kivy, un framework de código abierto basado en Python, especializado en la creación de aplicaciones interactivas y multiplataforma. Esta herramienta permite construir interfaces táctiles modernas con gran flexibilidad en el diseño y la disposición de elementos visuales, siendo compatible con múltiples sistemas operativos, incluido Raspbian, utilizado en la Raspberry Pi 4.

Kivy se seleccionó debido a su capacidad de operar eficientemente en entornos con recursos limitados como los sistemas embebidos, y por su compatibilidad con pantallas táctiles HDMI, lo cual permite una interacción directa entre el conductor y la interfaz sin necesidad de periféricos adicionales. La arquitectura del sistema gráfico se compone de pantallas modulares que muestran la información recolectada por los sensores conectados al sistema, incluyendo parámetros como frecuencia cardíaca, nivel de oxigenación en sangre, temperatura corporal, concentración de CO₂ en la cabina y calidad del aire exterior.

Adicionalmente, se integró un sistema de comandos por voz dentro de la aplicación Kivy, permitiendo al conductor interactuar con el sistema sin desviar la atención del camino. Esta funcionalidad responde a comandos naturales en español y cambia la visualización según las instrucciones del usuario.

La implementación con Kivy permitió una interfaz moderna, minimalista y funcional, donde el conductor puede consultar los datos relevantes en tiempo real y recibir alertas visuales y auditivas cuando los niveles registrados por los sensores representan un riesgo para su salud o seguridad.

La interfaz esta contenida en un archivo main.py que contiene toda la lógica de la interfaz, la aplicación está organizada en pantallas (screens) gestionadas por un ScreenManager. Cada pantalla representa una funcionalidad específica del sistema.

Se definen varias pantallas:

- HomeScreen: Menú principal con íconos para navegar.
- InfoScreen: Plantilla genérica con título e imagen.
- ReproductorScreen: Para control de audio Bluetooth y volumen.
- ConfiguracionScreen: Para escanear, conectar y desconectar dispositivos Bluetooth.
- CO2Screen: Muestra niveles de CO₂ simulados.
- Todas las pantallas se registran al ScreenManager.

4.1 HomeScreen

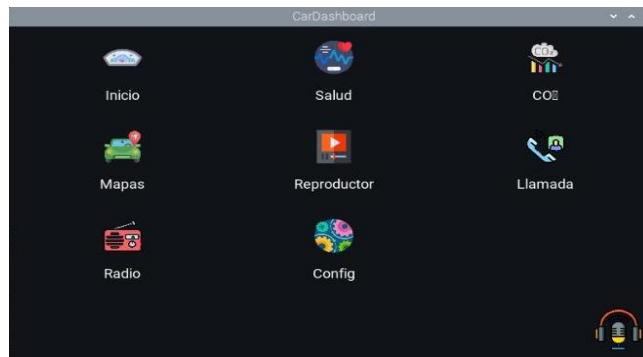
Usa una GridLayout de 3 columnas para mostrar los íconos (imagen + texto) de las funciones principales: Salud, CO₂, Mapa, Música, Configuración, Llamadas y Radio.

Cada ícono es un *IconButton* personalizado con imagen y texto, que al hacer clic cambia de pantalla usando *self.manager.current = screen_name*.

```
sm = ScreenManager()
sm.add_widget(HomeScreen(name='home'))
sm.add_widget(InfoScreen(name='salud', ...))
sm.add_widget(ReproductorScreen(name='reproductor'))
```

Figura 2

Pantalla Principal del Sistema



4.2 Botón de Micrófono

Este botón, al presionarse, cambia de ícono a un micrófono activo, muestra un *popup* de "Escuchando..." y lanza un *Thread* para capturar voz con *speech_recognition*.

```
def iniciar_escucha(self, *args):
    self.source = "assets/icons/mic_active.png"
    Thread(target=self.escuchar_comando_en_hilo,
    args=(popup,)).start()
```

4.3 Pantalla ReproductorScreen

Esta pantalla es la parte del reproductor del audio de un dispositivo conectado, como en cualquier vehículo permite la conexión de un dispositivo Bluetooth, y a través de la salida de audio de la Raspberry Pi, se reproduce el audio que envía el dispositivo emparejado.

- Muestra ícono de música.
- Indica si hay un dispositivo Bluetooth conectado (*obtener_dispositivo_conectado()*).
- Tiene un *Slider* para controlar el volumen del sistema con *amixer*.
- Se actualiza cada 5 segundos con *Clock.schedule_interval*.

4.4 Pantalla ConfigurationScreen

En esta pantalla se realizan las conexiones con los dispositivos móviles, es el área donde se enlazan estos, también será la pantalla donde pueda controlar otros parámetros como la configuración y ecualización de bocinas, centro de mensajes, etc., en esta primera versión permite:

- Escanear dispositivos Bluetooth.
- Conectar/desconectar uno seleccionado desde un *Spinner*.
- Muestra estado de conexión.
- Usa funciones auxiliares desde *utils.bluetooth_control*.

Figura 3

Pantalla de Configuración/Conección Bluetooth del Sistema



4.4 Pantalla CO₂Screen

En esta pantalla es donde se muestran los valores obtenidos por el sensor MH-Z19B:

- Muestra un ícono, nivel en ppm, barra de progreso, y alerta en texto.
- Clasifica niveles como:
 - Verde: Normal
 - Amarillo: Aire viciado
 - Rojo: Somnolencia

Cuando el valor es alto, lanza una alerta por voz usando espeak.

Figura 4

Pantalla de medición de CO₂



4.5 Pantalla Salud del Conductor

En esta Pantalla podremos observar los parámetros biomédicos que se miden al conductor como los son la saturación de oxígeno, la frecuencia cardiaca y la temperatura corporal, estos valores podemos observarlos en la Figura 5.

Figura 5

Pantalla de medición de Signos Fisiológicos del Conductor



4.6. Sensor Dióxido de Carbono en Cabina

Para la medición del CO₂ en la cabina del vehículo se hace uso del sensor MH-Z19B, el cual tiene un rango de medición de 0 a 10 000 ppm, con una precisión de $\pm(50 \text{ ppm} + 5\%)$, a través de la lectura por PWM.

Figura 6

Sensor MH-Z19b

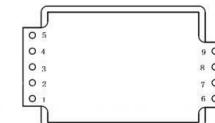


Nota: Imagen obtenida de <https://nyerekatech.com/shop/mh-z19b-ndir-co2-sensor-for-indoor-air-quality-monitoring/>

Figura 7

Definición de los pines del Sensor MH-Z19b

PIN	Description
Pin 6	V _{in} (voltage input)
Pin 7	GND
Pin 1	V _{out} (output voltage 3.3V, output current lower than 10mA)
Pin 9	PWM
Pin 5	HD (zero calibration, low level above 7 seconds) (Factory Reserved)
Pin 2	UART (RXD) 0~3.3V digital input
Pin 3	UART (TXD) 0~3.3V digital output
Pin 4	SR (Factory Reserved)
Pin 8	AOT (Factory Reserved)



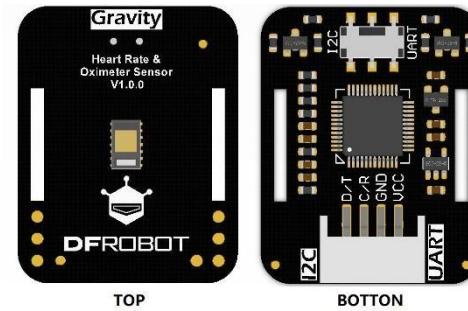
Nota: Imagen obtenida de <https://www.prometec.net/sensores-de-co2-mh-z19>

4.6. Sensor de Frecuencia Cardíaca y Saturación de Oxígeno

En este caso se hace uso del sensor MAX30102 que nos permite medir los parámetros de frecuencia cardíaca en BPM, y la saturación de oxígeno SPO₂, lo cual lo realiza a través de fotopletismografía (PPG) usando leds infrarrojos y rojos, la comunicación se hace a través de la interface I²C. Este sensor es usado comúnmente en los dispositivos comerciales de medición de SPO₂ que durante la pandemia fueron comúnmente usados.

Figura 8

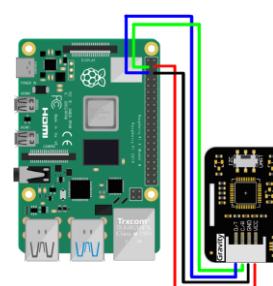
Sensor MX30102



Nota: Imagen obtenida de <https://www.arduino.cc/product/6201/gravity-max30102-ppg-heart-rate-and-oximeter-sensor-i2c-uart-%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%97%E0%B9%89%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81-dfrobot>

Figura 9

Diagrama de Conexión del Sensor MX30102



Nota: Imagen obtenida de <https://www.dfrobot.com/product-2529.html>

4.7. Sensor de Temperatura Corporal MLX90614

La medición de la temperatura tanto corporal como del ambiente dentro de la cabina, se realiza a través del MLX90614, el cual es un sensor de temperatura infrarrojo, el cual tiene un rango de medición de -70 °C a 380 °C, y con una precisión de ±0.5 °C, de igual forma se comunica a través de la interface I²C.

Figura 10

Diagrama de Conexión del Sensor MX30102



Nota: Imagen obtenida de

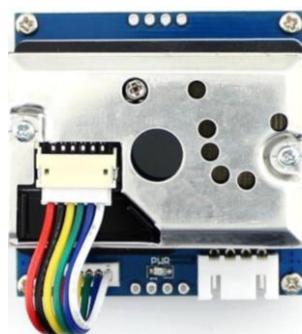
<https://www.geekfactory.mx/producto/mlx90614-sensor-de-temperatura-sin-contacto-gy-906/>

4.8. Medición de la Calidad del Aire Externa

Como se había mencionado anteriormente, la medición de la calidad del aire se realiza a través del dispositivo que se nombró como RedSpira, y el cual ya ha sido probado y sus resultados publicados en la edición 2024 de esta revista, es un dispositivo que a través del sensor Sharp GP2Y 1010AU0F y del MQ135, realizan las mediciones para detectar PM2.5 y PM10, esta vez conectados directamente a la Raspberry Pi, para poder integrar todo en un mismo sistema, que almacena la información y la procesa.

Figura 11

Sensor MX30102

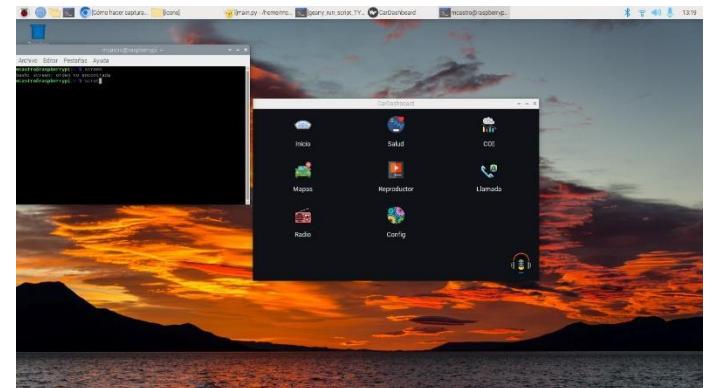


Nota: Imagen obtenida de <https://www.amazon.com.mx/Detector-Sensor-GP2Y1010AU0F-purificador-Dust/dp/B07P94LCFZ>

Como se mencionó anteriormente, todo el desarrollo se hizo en la Raspberry Pi 4, lo que nos permitió instalar todas las librerías necesarias y los entornos para la ejecución del sistema, el cual es funcional y facilitó realizar pruebas de validación.

Figura 12

Entorno de desarrollo de la solución



V. CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema inteligente de monitoreo biomédico y ambiental para vehículos eléctricos demostró ser una solución efectiva y de bajo costo para mejorar la seguridad del conductor. La integración de sensores biomédicos y ambientales permitió una vigilancia continua de parámetros clave relacionados con la salud del usuario y la calidad del aire en el entorno vehicular.

Se comprobó que, en ausencia de ventilación activa, la concentración de dióxido de carbono puede alcanzar niveles peligrosos en un corto periodo de tiempo, lo que incrementa significativamente el riesgo de somnolencia y pérdida de atención. De manera complementaria, la detección de signos fisiológicos anormales como hipoxia o temperatura corporal elevada permite alertar oportunamente al conductor ante posibles afecciones.

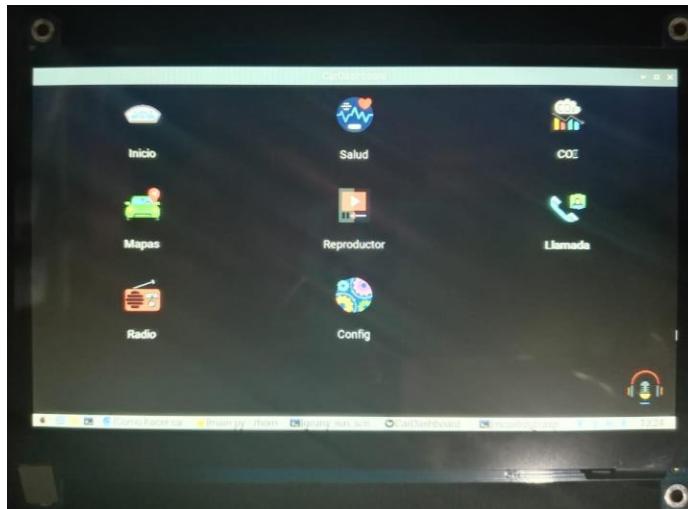
La plataforma basada en Raspberry Pi 4 y una interfaz desarrollada con Kivy demostró ser funcional, adaptable y escalable. Las alertas visuales y auditivas, así como el control por comandos de voz, mejoran la interacción hombre-máquina, incrementando la usabilidad del sistema en condiciones reales de conducción.

Este proyecto plantea una alternativa viable para su implementación en vehículos eléctricos como parte de una estrategia preventiva, no invasiva y proactiva que aporte al bienestar del conductor, promoviendo entornos de movilidad más seguros, saludables y tecnológicamente integrados.

Como puede observarse en la Figura 13, se logró la implementación en una pantalla táctil y a través de un micrófono USB conectado a la Raspberry Pi, se probaron de forma satisfactoria los comandos de voz. Como trabajo futuro se pretende que todas las funcionalidades del sistema de info-entretenimiento operen de manera completa, el reproductor de radio AM-FM, los mapas a través de un enlace con Google maps, y que las alertas además de ser visuales y auditivas también pudieran controlar la apertura en un porcentaje de las ventanas del vehículo.

Figura 13

Aplicación ejecutándose en pantalla táctil



VI. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al TecNM Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, a la Subdirección Académica por proporcionar los medios para la publicación de este trabajo derivado de los procesos de investigación realizados por el Cuerpo Académico ITSPA-CA3 Ingeniería, Innovación y Desarrollo Tecnológico y a la LGAC Instrumentación y Control.

VI. REFERENCIAS

- Autocosmos. (2024, marzo 15). 3 de cada 10 accidentes de tránsito son provocados por conductores que se quedan dormidos al manejar. <https://noticias.autocosmos.com.mx/2024/03/15/3-de-cada-10-accidentes-de-transito-son-provocados-por-conductores-que-se-quedan-dormidos-al-manejar>
- AS México. (2024, marzo 15). Día Mundial del Sueño: No dormir bien eleva el riesgo de sufrir un choque. <https://mexico.as.com/motor/dia-mundial-del-sueno-no-dormir-bien-eleva-el-riesgo-de-sufrir-un-choque-n/>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2018). Manual para la prevención de la fatiga del conductor en el autotransporte federal. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt241.pdf>
- INECC & SEMARNAT. (2022). Informe Nacional de Calidad del Aire 2021. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/763124/INCA_2021_final.pdf
- Erenler, A. K., Güzel, M., & Baydin, A. (2014). Driver-related medical conditions and the risk of road traffic accidents. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 8(1), 82–85.
- Orlova, I. A., Panov, V. G., & Shcherbakov, Y. V. (2020). Development of an intelligent driver's health monitoring system. *Transportation Research Procedia*, 48, 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.032>

Castro-Zenil, M. S., Alvarado-López, A., & Peñaloza-Mendoza, G. R. (2024). Diseño y manufactura de un dispositivo para el monitoreo de condiciones ambientales urbanas. *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, 10, 139–147. <https://doi.org/10.62805/cid2024.CID033>

Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., & Osawa, H. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*, 121, 51–56.

Zhang, G., Li, X., & Liu, Y. (2022). Design and implementation of a real-time driver health monitoring system using IoT and machine learning techniques. *IEEE Access*, 10, 40378–40390.

National Highway Traffic Safety Administration. (2020). Drowsy Driving 2020 Research Note. U.S. Department of Transportation. <https://www.nhtsa.gov>

Mishra, R., & Sahu, R. (2021). Integration of physiological and environmental sensors for driver safety in electric vehicles using embedded systems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(4)