Universidad Iberoamericana Puebla

Repositorio Institucional **http://repositorio.iberopuebla.mx**

ExpoIbero Primavera 2024

Clúster digital integrado para vehículos convertidos de motor de combustión interna a propulsión eléctrica

Velázquez Simbrón, Gustavo

2024

https://hdl.handle.net/20.500.11777/5999

http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf

Clúster digital integrado para vehículos convertidos de motor de combustión interna a propulsión eléctrica

Gil Buhl Alejandro (décimo semestre en Ingeniería Automotriz)[1], Pérez Molina Jonathan (noveno semestre en Ingeniería Automotriz)[1, *], Solano García Iván (octavo semestre en Ingeniería Automotriz)[1], Velázquez Simbrón Gustavo (décimo semestre en Ingeniería Automotriz)[1], Torres Reyes Ricardo (profesor asesor)[1], Morúa Álvarez Nora del Roció (profesor responsable) [1].

[1]*Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México.*

Resumen

En el proceso de conversión de vehículos de motor de combustión interna a propulsión eléctrica, las pequeñas empresas dedicadas a este servicio y los propietarios se enfrentan con necesidades ligadas al nuevo entorno, específicamente el clúster, quedando obsoleto al no poder desplegar nuevos parámetros de estado del vehículo al usuario. Por esta razón, el presente documento expone el desarrollo de un clúster enfocado para la implementación en vehículos convertidos de motor de combustión interna a propulsión eléctrica. Este clúster fue diseñado para suplir las deficiencias de los tableros originales desplegando la información adecuada tras la conversión. La metodología empleada incluyó la conexión de dispositivos mediante el protocolo CAN BUS, la programación de microcontroladores Arduino para la adquisición de datos, así como la configuración de nodos en Node-RED para la comunicación y visualización de la información, permitiendo la recopilación de datos y ofreciendo una interfaz gráfica amigable para la visualización en tiempo real. Con base en los resultados obtenidos, se concluyó que es una opción modular y escalable de un clúster digital para el proceso de conversión de vehículos hacia dichas tecnologías más limpias y eficientes, contribuyendo así a una movilidad más sostenible.

Palabras clave: Clúster, Arduino, Raspberry Pi, CAN BUS, Node-RED, datos.
[*]**Autor Corresponsal:** gustavo.velazquez@iberopuebla.mx

Introducción

En el contexto actual de la movilidad sostenible, la conversión de vehículos con motores de combustión interna a sistemas de propulsión eléctrica emerge como una opción para aquellos propietarios que desean adoptar este tipo de movilidad. Este cambio, no ofrecido oficialmente por las principales marcas automotrices, se realiza principalmente por dueños de vehículos y pequeñas empresas. Los avances en la movilidad eléctrica en México han sido impulsados por una serie de incentivos gubernamentales diseñados para mitigar la contaminación y los efectos del cambio climático. Entre estos, se destacan beneficios fiscales como la exención del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos (ISAN), lo cual representa uno de los principales estímulos para la adquisición de vehículos eléctricos [1]. Sin embargo, la conversión de vehículos convencionales a eléctricos presenta desafíos únicos, especialmente en lo que respecta a la integración de sistemas electrónicos, gestión de la energía y adaptación del sistema eléctrico para manejar la alta tensión.

Uno de los componentes que tiene más impacto en la experiencia de usuario del vehículo es el clúster del automóvil. Un clúster es el encargado de desplegar la información esencial, sobre velocidad, autonomía y estado, al usuario del vehículo.

Este componente, como cualquier otro del automóvil, debe comunicarse eficazmente con otros sistemas del vehículo para asegurar una operación segura y eficaz. La adaptación de la arquitectura del CAN BUS para facilitar esta comunicación es crucial, aunque desafiante, debido a las diferencias en los requisitos de transmisión de datos entre vehículos convencionales y eléctricos [2], así como la implementación misma de nuevos componentes al sistema.

Por ende, surge la pregunta: ¿Cómo se puede ofrecer un clúster digital para el proceso de conversión de vehículos? A raíz de ello, el propósito del proyecto actual es desarrollar un clúster digital para vehículos convertidos de motores de combustión interna a eléctricos mediante el protocolo CAN BUS. Mientras las empresas, fuera de los fabricantes originales de equipos, exploran la personalización de vehículos a través de computadoras de a bordo, al igual que la implementación de módulos para leer datos del bus de red del vehículo, enfrentan desafíos desde la interpretación del protocolo de comunicación hasta la gestión eficiente de la velocidad de transmisión entre los sistemas interconectados.

Por otra parte, uno de los desafíos fundamentales de este proyecto reside en la interpretación y manipulación correcta de los datos provenientes del puerto OBD-II, además de la estructura de los mensajes para extraer información precisa. Por ello, la solución a tal desafío implica herramientas de diagnóstico y desarrollo de software personalizado que permitan leer parámetros mediante la conexión OBD-II. Asimismo, otro desafío significativo es asegurar una comunicación fluida entre los diversos sistemas ajenos al vehículo sin interferencias ni pérdida de datos. De manera que, las soluciones técnicas involucran la transmisión y recepción de datos de los dispositivos utilizados ajenos al vehículo, la implementación de filtros, así como el desarrollo de algoritmos que procesan la información recibida. Además, la sincronización de baudios entre los módulos CAN y otros dispositivos electrónicos es esencial para evitar conflictos y garantizar un rendimiento óptimo [3]. Por otro lado, la necesidad de desarrollar un clúster

digital para vehículos convertidos a propulsión eléctrica en México se sustenta en la dinámica de crecimiento del mercado de autos eléctricos junto con los incentivos gubernamentales que promueven la adopción de estas tecnologías. Según un informe, el mercado de vehículos eléctricos e híbridos en México experimentó un crecimiento del 68% en 2018 respecto al año anterior, reflejando una tendencia ascendente en la preferencia por vehículos más sostenibles. Además, se espera que la producción de autos eléctricos en Norteamérica crezca un 242.3% entre 2022 y 2023, lo que subraya la importancia de adaptar la infraestructura y servicios a esta realidad emergente [4].

Por consiguiente, los alcances de este proyecto fueron los siguientes: se solicitó y recibió información del vehículo en tiempo real a través del protocolo CAN BUS, el cual resultó ser crucial para el desarrollo del clúster, además de las conexiones necesarias para lograr esta comunicación entre el prototipo y el coche. Asimismo, fue necesario presentar los parámetros esenciales del vehículo al usuario, a través de una interfaz confiable, simple y agradable a la vista del conductor. Por último, se desarrolló a escala real un clúster digital. Dicho prototipo se construyó con base en la investigación, programación, conexiones y materiales propuestos.

Metodología

Investigación y análisis del Protocolo CAN BUS

La primera etapa del proyecto se enfocó en una investigación del Protocolo CAN BUS para la comunicación en sistemas de vehículos modernos. Este protocolo, desarrollado originalmente en 1980 por Bosch [5], fue diseñado para permitir la comunicación efectiva entre varios componentes del vehículo sin necesidad de un host central.

El análisis comenzó con un breve estudio de la evolución histórica del protocolo, identificando las mejoras que ha experimentado para aumentar su capacidad de manejar redes más complejas con una mayor tasa de transferencia de datos y gestión de errores.

Luego de ello, se revisó la arquitectura técnica del CAN BUS, destacando su diseño basado en un modelo de bus de datos, el cual permite que múltiples microcontroladores se comuniquen en un vehículo sin necesidad de un computador central. Esta arquitectura reduce los errores, minimiza las latencias y optimiza la eficiencia y robustez del sistema.

Los parámetros del vehículo se transmiten como mensajes dentro del protocolo CAN BUS, y estos llevan un identificador asociado, lo que se conoce como PID (Parameter ID). Cabe destacar que, existe un estándar para estos identificadores definido por la norma SAE J1979 [6].

En este proyecto se empleó el estándar de los PIDs, a través de una selección de los parámetros, considerados pertinentes, para visualizar en un tablero digital, tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: PIDs seleccionados para ser desplegados en el clúster.

PID	Descripción
0x5B	Porcentaje de batería del vehículo eléctrico
0x9A	Voltaje de batería del vehículo eléctrico
0x05	Temperatura de refrigerante
0x0C	Revoluciones por minuto (RPM) del motor
0x0D	Velocidad del vehículo
0x1F	Tiempo desde que se puso en marcha el motor
0x11	Posición del acelerador

Desarrollo de la ruta de comunicación

Luego de revisar el Protocolo CAN BUS, se desarrolló la ruta de comunicación, centrándose en la implementación física y lógica para conectar el Arduino con la computadora del vehículo. Posterior a ello, se diseñó y construyó un esquema de conexión que empleó un módulo específico para comunicar el Arduino con el sistema del vehículo. Después, se seleccionó el módulo CAN MCP2515 debido a su capacidad para actuar como "puente" entre la red CAN del vehículo y el controlador Arduino. Vale la pena mencionar que, el módulo decodifica mensajes del bus CAN para que el Arduino los entienda, ya que este último no puede interpretar directamente las señales CAN debido a diferencias en los protocolos de comunicación.

A continuación, en la Fig. 1 se muestra la conexión entre el módulo MCP2515 y el Arduino.

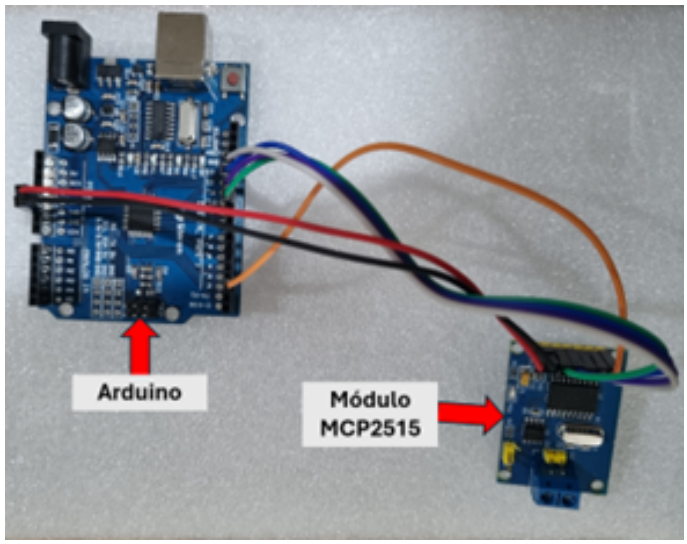

Fig. 1. Conexión entre Arduino y módulo MCP2515.

Seguidamente, se conectó a las líneas de CAN el puerto OBD-II con un escáner automotriz modificado, adaptado para interactuar con los pines de CAN H y CAN L. Esta modificación facilitó la recepción de señales desde la red CAN del vehículo, dando ruta directa para los datos hacia el módulo MCP2515. En la Fig. 2 se muestra la conexión del escáner a los dispositivos antes mencionados.

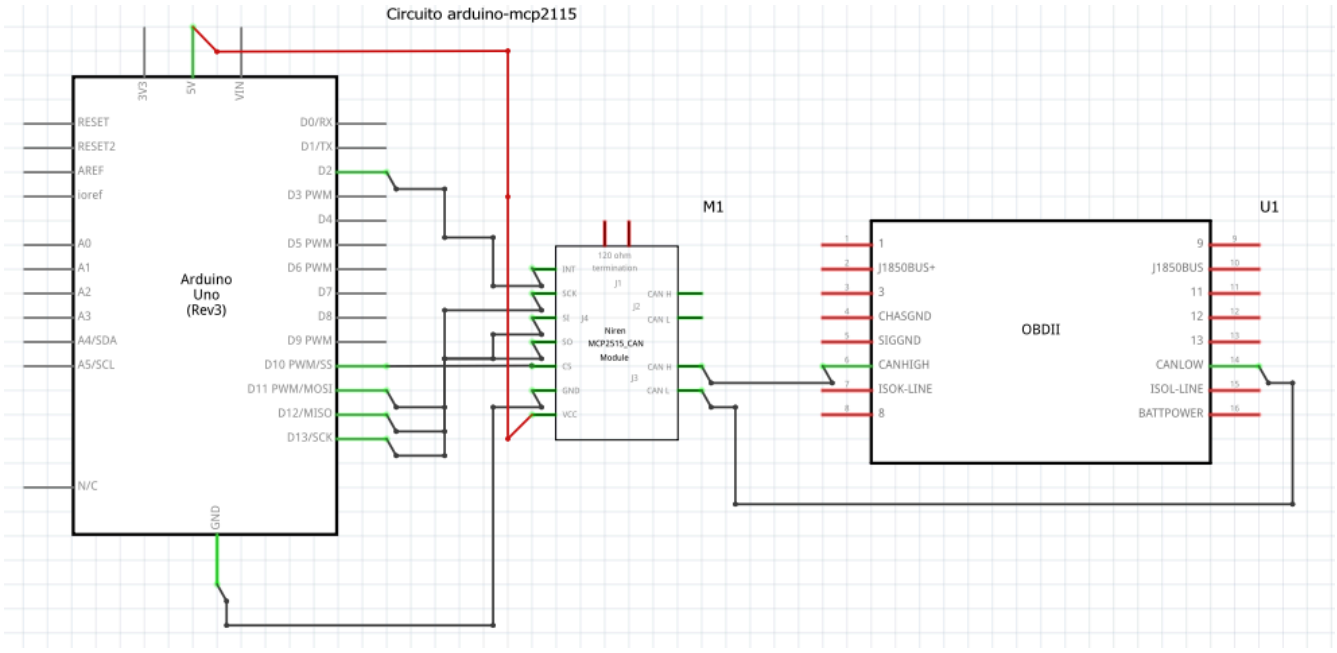

Fig. 2. Conexión entre Arduino, Módulo MCP2515 y escáner automotriz.

Esta decisión técnica se basó en la necesidad de asegurar una interfaz fiable y sin interferencias, en lugar de buscar en el arnés los cables CAN, cortarlos y hacer la conexión, dado que la integridad de los mensajes depende de la propia fiabilidad con la que se comunica el vehículo.

El programa de recopilación de datos asignado al Arduino se desarrolló a partir de un programa tipo request en el que se pidió a la computadora mandar el estado de una dirección de PID específico, volviendo a mandar la petición en un intervalo de tiempo pequeño. A diferencia de recibir el paquete de datos completo, esta estrategia de programa hace mejor uso de los recursos del hardware al no tener que procesar de manera continua el lote de datos del automóvil en su totalidad.

```
1
2  #define PID_COOLANT_TEMP 0x05
3  #define PID_ENGINE_RPM  0x0C
4  #define PID_VEHICLE_SPEED 0x0D
5  #define PID_THROTTLE 0x11
6  #define PID_RUNTIME 0x1F
7  #define PID_HYBRID_BATTERY_PERCENTAGE 0x5B
8  #define PID_CUSTOM_BATTERY_VOLTAGE 0X9A
9
10 #define CAN_ID_PID 0x7DF
11
12 #include <mcp_can.h>
13 #include <SPI.h>
```

Fig. 3. Definición de los PIDs y las librerías del código.

Después de realizar las conexiones físicas entre el vehículo y el Arduino, el paso siguiente consistió en la integración del Arduino con la Raspberry Pi. Esta conexión se realizó a través de los puertos USB de ambos dispositivos, facilitando una interfaz directa para la transmisión de datos. La conexión entre estos cuatro dispositivos se muestra en la Fig. 4.

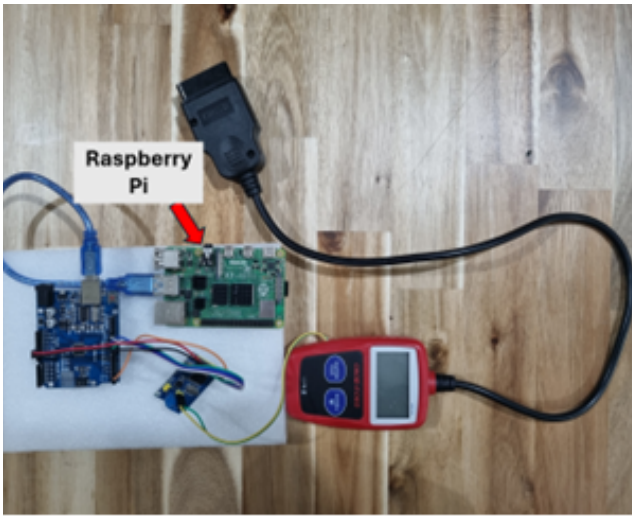

Fig. 4. Integración de Raspberry Pi al Arduino.

Desarrollo de la interfaz de usuario y procesamiento de datos

Se eligió Node-RED para el desarrollo de la interfaz debido a su capacidad de integración con hardware y su facilidad de uso en la programación de flujos visuales. Permitiendo así, una iteración rápida en el diseño de la interfaz, además de proporcionar flexibilidad para manipular y visualizar datos en tiempo real. Además, la extensa biblioteca de nodos de Node-RED facilitó la integración de funcionalidades avanzadas sin la necesidad de una programación compleja. La Figura 5 muestra el

entorno de trabajo de Node-RED, así como su conjunto de bloques de programación.

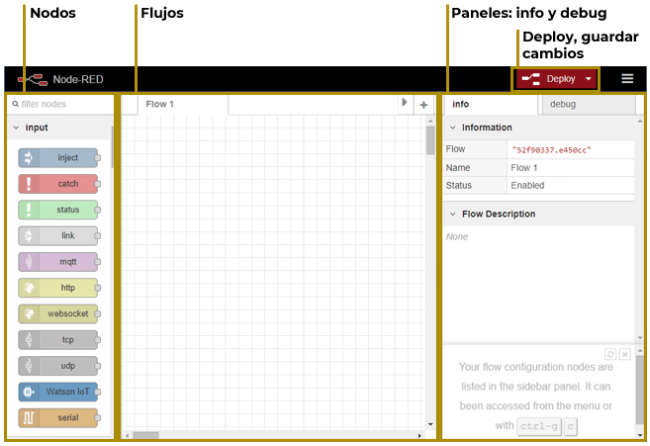

Fig. 5. Entorno de trabajo de Node-Red.

Con respecto al software, este utiliza una librería específica para crear dashboards con datos en tiempo real. Adicionalmente, se comunica con Arduino por serial a través de bloques llamados “function”. Asimismo, se utilizaron las líneas de texto predecesoras al valor de interés como un filtro, dichos valores se mostraron en el dashboard usando bloques "gauge". Además, se emplearon 7 bloques "function" y 7 bloques "gauge" para mostrar 7 parámetros, tal y como se observa en la Fig. 6.

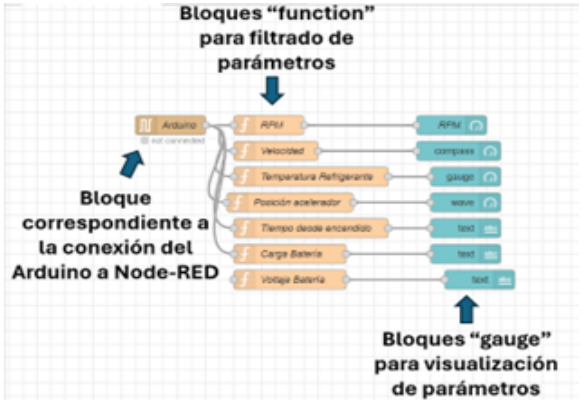

Fig. 6. Programación por bloques para filtrado y despliegue de datos en el dashboard.

Posterior a ello, se adecuó la presentación del dashboard mediante la modificación de los indicadores de datos, colores, fuentes y tamaños de letra para asemejarse a un clúster digital para vehículos.

Pruebas y ajustes del sistema

Tras el desarrollo y la implementación del software en los dispositivos, y luego de haber confirmado la conexión física y funcional entre el vehículo y la Raspberry Pi, se hicieron pruebas de diagnóstico, como se observa en la Fig. 7. Estas pruebas, realizadas con el vehículo en estado estático, evaluaron la habilidad del sistema para procesar y manejar datos vehiculares, incluyendo el tiempo transcurrido desde que se encendió el motor, la temperatura del refrigerante, al igual que la posición del acelerador, esto con la finalidad de asegurar una transmisión precisa de datos.

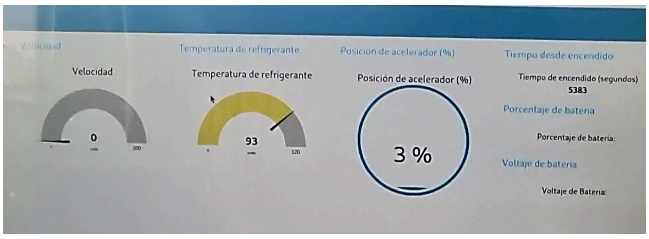

Fig. 7. Parámetros del vehículo en reposo.

Por otra parte, al utilizar una pantalla LCD de 7”, la cual fue conectada a la Raspberry Pi mediante los puertos HDMI, se visualizó el clúster digital. Seguidamente, tras conectarse, se hicieron ajustes en los indicadores de datos, debido al cambio de resolución entre pantallas. Posteriormente, se realizaron pruebas en movimiento del vehículo con el objetivo de asegurar que el clúster seguía mostrando los datos del automóvil en tiempo real. Por lo que, al confirmar el funcionamiento del prototipo, se procedió a diseñar en NX una base para montar todos los módulos y dispositivos utilizados en el prototipo, del mismo modo, se imprimió en 3D y se montaron los respectivos componentes. De forma que, el diseño en 3D y la base impresa se muestran en las Fig. 8 y 9, respectivamente.

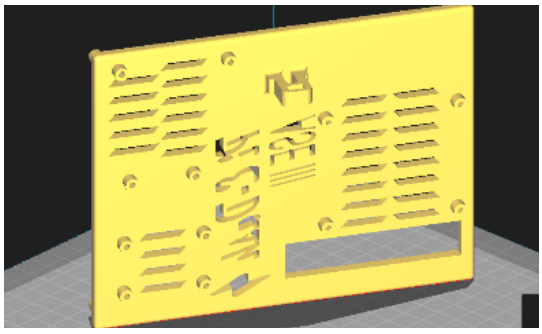

Fig. 8. Modelo en software UltiMaker Cura para laminado de impresión 3D.

Fig. 9. Base impresa para montar los componentes del clúster digital.

Por último, se repitieron pruebas con el coche en movimiento para asegurarse de que el montaje de los componentes no hubiera comprometido el funcionamiento del clúster.

Resultados y Discusión

Identificar el funcionamiento, recopilación y transmisión de datos del vehículo a través del protocolo CAN BUS

Para iniciar el proyecto y realizar la planificación adecuada de la construcción del prototipo y la comunicación entre componentes, se llevó a cabo una investigación sobre cómo es que el vehículo transmite y recibe información dentro de su sistema electrónico. Por consiguiente, con la documentación revisada sobre el protocolo CAN BUS y la estructura de los mensajes, con los cuales se comunica el vehículo, se concluyó que la clave para solicitar y recibir información específica de la computadora es utilizar los identificadores de parámetros.

A pesar de no haber podido trabajar con un vehículo convertido, debido a la naturaleza de los PID, solo hay que cambiar el identificador para solicitar la información pertinente, tal como carga de batería, voltaje, temperatura, etc.

Determinar la ruta de comunicación entre el automóvil, los módulos Arduino y la Raspberry Pi para la recolección de datos en tiempo real

Ahora bien, sabiendo cómo se comunica el vehículo, se determinaron los componentes a utilizar, los cuales permitieron solicitar y recibir los parámetros deseados, siendo estos un escáner automotriz modificado, que toma los pines CAN H y CAN L del puerto ODB-II del vehículo; un módulo MCP2515, mediante el cual se da la traducción de las señales CAN del vehículo a un lenguaje que entiende Arduino; un Arduino UNO, una Raspberry Pi 4 y, por último, una pantalla LCD de 7” para la visualización de la interfaz gráfica.

A continuación, en la Fig. 10 se muestra la ruta de comunicación entre el vehículo, el módulo MCP2515, el Arduino y la Raspberry Pi.

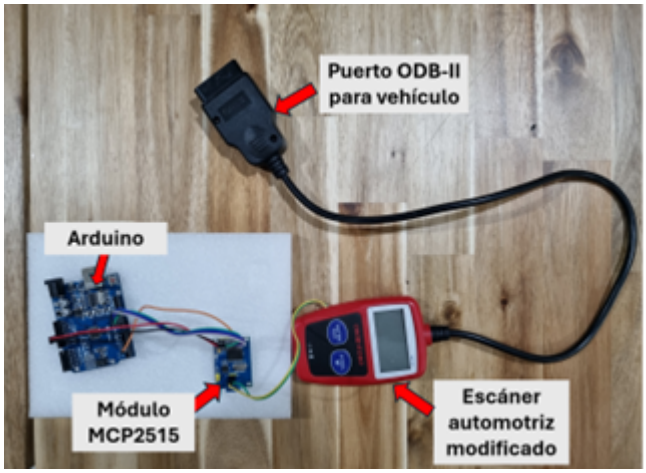

Fig.10. Ruta de comunicación entre los dispositivos utilizados para el clúster digital.

En lo que respecta a la utilización del código cargado en Arduino, que solicita y recibe continuamente información del vehículo según los PIDs anteriormente mencionados, se obtuvo una serie de datos (ver Fig. 11) que llegaban continuamente a la Raspberry Pi.

Fig.11. Monitor serial mostrando datos recibidos del vehículo.

Posteriormente, al implementar el software de Node-RED, encargado de filtrar la información transmitida en serie por el Arduino a través de bloques “function” y “gauge”, y con el objetivo de obtener el despliegue de datos, se obtuvo el siguiente dashboard mostrado en la Fig. 12.

Fig.12. Dashboard con los parámetros del vehículo.

Diseñar una interfaz gráfica en Node-RED en la Raspberry Pi para la visualización eficiente de datos

Dicho objetivo da secuencia inmediata al anterior, ya que después del filtrado de valores con los bloques “function”, estos se conectan con los bloques “gauge”, los cuales utilizan los valores numéricos resultantes para desplegarlos en forma de indicadores (velocidad, RPM, temperatura), niveles (posición de acelerador) o directamente texto (voltaje y porcentaje de batería).

Es importante resaltar que, Node-RED permite la personalización de la interfaz gráfica, modificando colores, fondo, fuentes de texto, tamaño y forma de algunos indicadores. De forma que, con el fin de otorgar una mejor presentación al clúster digital, se adecuaron los aspectos anteriormente mencionados, dando como resultado la interfaz gráfica digital presentada en la Fig. 12.

Probar clúster digital desarrollado para asegurar la calidad de la recopilación, transmisión y visualización de datos

En relación con la base diseñada para montar el módulo MCP2515, el Arduino UNO, la Raspberry Pi 4 y la pantalla LCD de 7”, resultaron ser adecuados en términos de resistencia con relación al peso de los componentes. Por ello, se utilizó un cople para una ventosa como método de anclaje al auto. En este caso, se usó la ventana del copiloto, debido a que esta presentaba una superficie óptima para la ventosa.

Una vez que la base se terminó, se procedió a montar los módulos correspondientes, dando como resultado el clúster digital, cuya función es permitir al conductor visualizar valores importantes de su vehículo, como los mostrados en las Fig. 13 y 14.

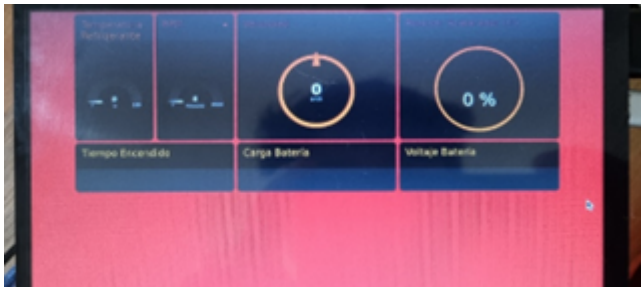

Fig.13. Clúster digital montado (vista frontal).

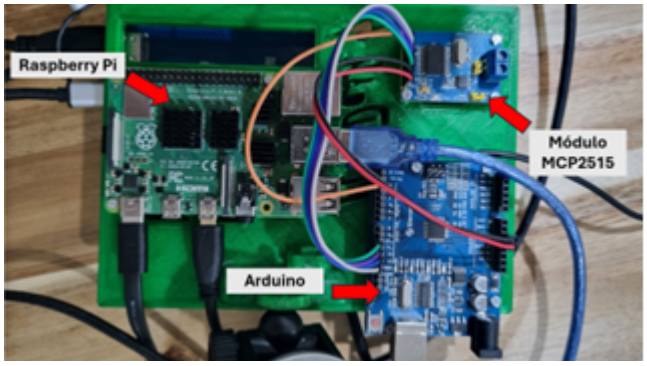

Fig.14. Clúster digital montado (vista trasera).

Cabe destacar que, para energizar el clúster es necesario conectarlo a una fuente externa a este, y para ello hay tres opciones. La primera de ellas es utilizar una batería portátil con entrada tipo C, la segunda; usar un cargador de coche con salida máxima de 5.1V y 3A junto con un cable USB a tipo C, o bien; tomar la energía del vehículo con un puenteo desde un circuito que maneje los valores anteriormente citados. Por lo que, para estas pruebas, se utilizó una batería portátil con salida de 5.1 V y 2A (ver Fig. 15). Es importante señalar que, a pesar de que el amperaje era menor, no afectó significativamente el rendimiento del clúster digital.

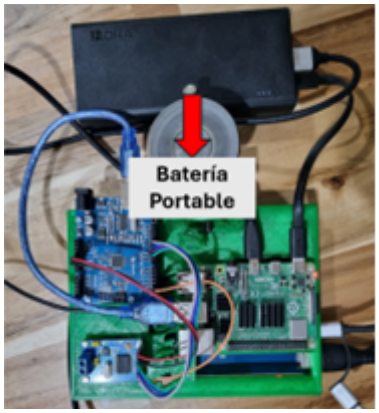

Fig.15. Clúster energizado con batería portátil.

Asimismo, se hicieron las conexiones pertinentes del clúster, luego se encendió el vehículo para comprobar el funcionamiento de la visualización de datos y, finalmente, se hizo un recorrido en movimiento para asegurar que este mostrara la velocidad y RPM del vehículo, el cual se muestra en la Fig. 16.

Fig.16. Clúster digital montado, evidenciando parámetros del vehículo.

En la Fig. 17 se muestra una captura de pantalla del clúster durante un recorrido.

Fig.17. Funcionamiento de clúster durante una prueba en movimiento.

Respecto a los parámetros como el voltaje y la carga de batería, los cuales no entraron en funcionamiento en las pruebas realizadas, debido a que estos PIDs corresponden a vehículos eléctricos, serán desplegados adecuadamente en un vehículo que sea capaz de leer tales datos y que tenga dichos identificadores asignados.

Mientras que, para un vehículo que ya ha pasado por el proceso de conversión a propulsión, será necesario que se eliminen ciertos PIDs obsoletos que son solicitados en estas pruebas, como RPM y temperatura del refrigerante.

Vale la pena mencionar que, este proyecto cuenta con una característica muy importante, siendo esta la escalabilidad, la misma que otorga la naturaleza de los mensajes del CAN BUS, así como sus identificadores de parámetros, por lo que fácilmente se puede modificar el código cargado a Arduino para eliminar y añadir PIDs solicitados según sea necesario. En el caso de vehículos convertidos, es posible añadir parámetros como voltaje, carga y temperatura de la batería, así como de la cabina del vehículo; posición del

freno regenerativo, entre otros. Únicamente conociendo su identificador asignado para cada parámetro.
De manera que, la fiabilidad de los parámetros no depende de los componentes usados para el clúster ni del código empleado para solicitar y recibir información, ya que son datos leídos e interpretados dentro de los sistemas del vehículo. Además, el clúster exclusivamente solicita, lee y despliega los valores.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

A través del desarrollo y construcción del prototipo, se cumplió la necesidad de crear un clúster digital para vehículos convertidos de motor de combustión interna a propulsión eléctrica. Asimismo, mediante el uso del protocolo CAN BUS, se estableció una comunicación en tiempo real entre los componentes del vehículo y el clúster digital. Por otra parte, la integración de tecnologías como Arduino y Raspberry Pi, junto con el software Node-RED, facilitó la recolección y visualización eficiente de datos críticos del vehículo, tales como la velocidad, temperatura del refrigerante, RPM, entre otros.
Por lo tanto, las aportaciones principales del proyecto se centran en la comprensión y aplicación efectiva de los Identificadores de Parámetros en vehículos convertidos a propulsión eléctrica, al igual que en la metodología empleada, sentando así, una base sólida para futuros desarrollos en este campo. Por su parte, la adaptabilidad y escalabilidad del sistema permiten que sea una solución potencialmente aplicable a distintos vehículos convertidos. No obstante, el prototipo se vio limitado por la falta de acceso a un vehículo completamente convertido, ya que no permitió probar todas las funcionalidades del sistema, especialmente aquellas relacionadas con parámetros específicos de vehículos eléctricos como el voltaje y carga de batería.
Es de resaltar que, en un futuro, dicho clúster digital podría adaptarse ya no solamente con el objetivo de visualizar parámetros, sino también para integrar otros elementos de un tablero original, tales como los testigos, los indicadores de luces y direccionales, o incluso comodidades como la temperatura externa y la hora. Es importante destacar que, el diseño de la estructura del clúster representa una significativa oportunidad de mejora que podría abordarse más adelante. Además, la personalización del clúster de acuerdo con las necesidades específicas del usuario podría explorarse a mayor profundidad, mejorando así la experiencia del conductor y la eficiencia del vehículo.

Referencias

[1] L. Sánchez Vela, M. Fabela Gallegos, J. Hernández Jiménez, O. Flores Centeno, D. Vázquez Vega y M. Cruz Acevedo, "Estado del arte de la movilidad eléctrica en México" Publicación Técnica No. 596, Querétaro, *Secretaría de Comunicaciones y Transportes*, *Instituto Mexicano del Transporte*, pp. 15-16, 2020.
[2] L. H. Goldberg, "CAN bus: Taking a Larger Role in EVs and PHEVs", *DigiKey*, 2012.
[3] P. Encalada y M. Rojas, "Sistema electrónico para monitorización y control de un prototipo de un auto eléctrico BIPLAZA UTA-CIM17", *Repositorio Universidad Técnica de Ambato*, Ambato, Ecuador, 2019.
[4] V. Víctor, "Producción de autos eléctricos crecerá 242.3% en Norteamérica, entre 2022 y 2023: INA", *Mexico Industry*, 2022.
[5] R. Bosch, "CAN specification version 2.0", 1991.
[6] Dash Logic, "OBD-II J1979 PID Listing", 2018.