

## Diseño e implementación de un prototipo de módulo controlador para motores de vehículos eléctricos (EV's)

### Design and implementation of a prototype controller module for electric vehicle motors (EVs)

R. Santillán-Luna <sup>a,\*</sup>, I. Cervantes-De Anda <sup>a</sup>, A.J. Alcántara-Méndez <sup>a</sup>, F.J. Figueroa-Del Prado <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Área Académica de Ingeniería en Sistemas Computacionales, ESCOM, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

#### Resumen

En este artículo se presenta el diseño e implementación de un prototipo de módulo controlador para motores eléctricos, orientado a su integración en vehículos eléctricos ligeros. El módulo propuesto tiene como objetivo gestionar eficientemente la energía almacenada en un banco de baterías y regular su suministro al motor eléctrico, en función de la presión ejercida sobre el pedal del acelerador y bajo parámetros de seguridad que garanticen un arranque y operación seguros. En México, actualmente no se cuenta con una industria nacional consolidada que desarrolle este tipo de componentes, lo que obliga a importar tecnologías similares, encareciendo el producto y dificultando su mantenimiento. La propuesta busca aprovechar dispositivos electrónicos disponibles en el mercado nacional y desarrollar un software de control modular y escalable, que facilite su adaptación a distintos tipos de vehículos eléctricos. Con ello, se pretende impulsar la independencia tecnológica del país en este sector estratégico, reducir los costos asociados y promover el desarrollo de soluciones locales para la movilidad sustentable, derivado de la comparación de costos frente a módulos importados, la disponibilidad de componentes electrónicos nacionales y el impacto estratégico en la transición hacia la electromovilidad.

**Palabras Clave:** Instrumentación, Software de control, Electromovilidad.

#### Abstract

This article presents the design and implementation of a prototype controller module for electric motors, designed for integration into light electric vehicles. The proposed module aims to efficiently manage the energy stored in a battery bank and regulate its supply to the electric motor based on the pressure exerted on the accelerator pedal and meet low safety parameters that guarantee safe start-up and operation. Mexico currently lacks a consolidated national industry developing these types of components, which requires the importation of similar technologies, making the product more expensive and difficult to maintain. The proposal seeks to leverage electronic devices available in the domestic market and develop modular and scalable control software that facilitates its adaptation to different types of electric vehicles. This aims to boost the country's technological independence in this strategic sector, reduce associated costs, and promote the development of sustainable mobility spaces, based on cost comparisons with imported modules, the availability of domestic electronic components, and the strategic impact on the transition to electromobility.

**Keywords:** Instrumentation, Control, Software y Electromobility.

#### 1. Introducción

El avance de la movilidad eléctrica representa una oportunidad clave para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el impacto ambiental del transporte. Uno de los componentes esenciales en esta tecnología es el módulo

controlador de motores eléctricos, que regula el suministro de energía hacia el motor y, por ende, su desempeño.

A pesar del crecimiento global de esta tecnología, en México no se cuenta con un registro de empresas que diseñen o ensamblen este tipo de controladoras, lo cual representa una

\*Autor para la correspondencia: rsantillan@ipn.mx

**Correo electrónico:** rsantillan@ipn.mx (Raúl Santillán Luna), icervantesd@ipn.mx (Ismael Cervantes de Anda), ajalcantaram@ipn.mx (Alberto Jesús Alcántara Méndez), ffigueroa@ipn.mx (Felipe de Jesús Figueroa del Prado).

**Historial del manuscrito:** recibido el 02/07/2025, última versión-revisada recibida el 17/10/2025, aceptado el 14/10/2025, publicado el 25/03/2026. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial.15427>.



limitante significativa para el desarrollo de vehículos eléctricos a nivel nacional. Esta carencia tecnológica se traduce en la necesidad de importar dichos dispositivos, lo que eleva los costos, incrementa los tiempos de entrega y genera dependencia del mercado internacional.

En un entorno marcado por la innovación constante, la adaptabilidad, eficiencia y seguridad en el funcionamiento de los motores eléctricos son aspectos fundamentales, tanto en aplicaciones industriales como automotrices. En este contexto, el presente trabajo presenta el diseño e implementación de un prototipo de módulo controlador para motores eléctricos, orientado a satisfacer las necesidades específicas de los sistemas de electromovilidad.

El prototipo propuesto ha sido concebido para proveer un arranque suave y eficiente del motor, así como una gestión de parámetros críticos como el voltaje de alimentación, las revoluciones por minuto (RPM) del motor, la corriente consumida y la temperatura del motor. Además, incluye la capacidad de conversión de corriente directa (DC), proveniente de un banco de baterías, a corriente alterna (AC), permitiendo su implementación en diversas aplicaciones donde se requiera una mayor eficiencia energética.

La integración de estas funciones busca no solo mejorar el desempeño del motor, sino también prevenir fallos por sobrecalentamiento y arranques inadecuados, contribuyendo así a la reducción del desgaste del sistema y de las emisiones contaminantes asociadas al uso ineficiente de energía. Esta propuesta representa un avance prometedor en la gestión de motores eléctricos, al ofrecer una solución versátil, de fácil aplicación y con enfoque en la seguridad operativa, que podría tener un impacto positivo en la industria automotriz eléctrica en México.

## 2. Antecedentes

En los últimos años, las unidades de control para vehículos eléctricos (VE) han experimentado avances significativos que han contribuido a mejorar la eficiencia, el rendimiento, la seguridad y la integración de funciones inteligentes en este tipo de automóviles. A continuación, se describen algunas de las principales líneas de desarrollo tecnológico que caracterizan el estado actual de estas unidades:

### 2.1. Tecnología de control de motores

Los controladores modernos para vehículos eléctricos incorporan algoritmos sofisticados que permiten un control más preciso de la velocidad y el par del motor eléctrico. Estos algoritmos también mejoran la eficiencia energética y la capacidad de respuesta del vehículo, incluyendo funcionalidades como la frenada regenerativa, que permite recuperar energía durante la desaceleración (Ehsani et al., 2018).

### 2.2. Sistemas de gestión de baterías (BMS)

Los BMS (Battery Management Systems) han sido perfeccionados para monitorear y equilibrar de forma precisa

cada celda de la batería, optimizando tanto la duración como el desempeño del conjunto de almacenamiento energético. Esta supervisión es fundamental para prevenir fallas, evitar sobrecargas y mantener el sistema dentro de parámetros seguros de operación (Sharma & Ramesh, 2021).

### 2.3. Semiconductores de potencia

La incorporación de dispositivos de potencia basados en tecnologías como el SiC (carburo de silicio) y el GaN (nitruro de galio) ha permitido reducir las pérdidas energéticas y aumentar la eficiencia en los procesos de conversión y distribución de energía dentro del sistema de propulsión eléctrica. Esto se traduce en una mayor autonomía del vehículo y un menor calentamiento de los componentes.

### 2.4. Comunicación y conectividad

Las unidades de control modernas hacen uso de protocolos de comunicación como CAN Bus (Controller Area Network Bus), los cuales permiten una interconexión eficiente y robusta entre los diversos subsistemas del vehículo. Esta conectividad facilita la integración con el sistema de visualización del tablero, módulos de asistencia al conductor, sistemas de diagnóstico y monitoreo remoto.

### 2.5. Regeneración de energía

Los sistemas actuales han mejorado significativamente la eficiencia con la que se recupera energía cinética durante el frenado o la desaceleración. Esta energía es redirigida al banco de baterías, lo que contribuye al aumento de la autonomía del vehículo sin incrementar el tamaño o la capacidad del sistema de almacenamiento (Chan, 2007).

### 2.6. Seguridad y redundancia

Con el fin de propiciar un funcionamiento seguro y confiable, las unidades de control modernas implementan esquemas de redundancia en sensores y circuitos críticos, así como mecanismos de protección frente a fallas o condiciones anormales de operación. Esto es especialmente importante en aplicaciones vehiculares, donde la seguridad del usuario es prioritaria.

En conjunto, estos avances demuestran una evolución continua en el diseño de unidades de control para vehículos eléctricos. No obstante, la mayoría de estas tecnologías son desarrolladas en el extranjero, y su acceso en el contexto mexicano depende en gran medida de la importación, lo cual representa un obstáculo técnico, económico y logístico. Esta situación resalta la necesidad de impulsar propuestas de diseño y fabricación nacional que consideren estas tendencias tecnológicas y las adapten al contexto productivo y comercial del país.

## 3. Justificación

El desarrollo e implementación de tecnologías propias en el sector de vehículos eléctricos representa una oportunidad clave para México, especialmente frente a los desafíos ambientales,

económicos y tecnológicos actuales. La falta de disponibilidad nacional de módulos controladores para motores eléctricos obliga a las empresas mexicanas a recurrir a importaciones, lo cual eleva significativamente los costos debido a aranceles, fletes y derechos aduanales. Además, la ausencia de centros de servicio técnico especializados en el país dificulta el mantenimiento de estos dispositivos y prolonga los tiempos de reparación o sustitución, lo que representa una barrera para la adopción de vehículos eléctricos (IEA, 2023).

La Ciudad de México y su zona metropolitana, una de las regiones más afectadas por la contaminación atmosférica en el país, enfrenta niveles críticos de polución, atribuibles principalmente al parque vehicular, a la actividad industrial y a factores urbanos como la densidad poblacional. Contaminantes como partículas PM10 y PM2.5, dióxidos de azufre y nitrógeno, ozono troposférico y monóxido de carbono provienen en gran parte de automóviles de combustión interna. Entre 2022 y 2023 se han declarado múltiples contingencias ambientales, que han llevado a la implementación de restricciones vehiculares, suspensiones de actividades industriales y alertas sanitarias (SEDEMA, 2023; SEMARNAT, 2023).

Ante esta problemática, diversas marcas automotrices han impulsado la transición hacia la movilidad eléctrica, promoviendo vehículos más eficientes y con menor impacto ambiental. Esta transición abre áreas de oportunidad para el desarrollo nacional de tecnologías que respalden dicha movilidad, incluyendo módulos controladores de motor adaptables, seguros y eficientes (BloombergNEF, 2022).

El prototipo de controlador propuesto en este trabajo tiene como objetivo atender esta necesidad mediante un diseño nacional que integre capacidades esenciales como el arranque seguro, el monitoreo en tiempo real de parámetros críticos (voltaje, corriente, temperatura, RPM), y la conversión de corriente directa a alterna para mejorar la eficiencia energética y adaptarse a distintos tipos de motores. Además, incorpora comunicación con el panel de instrumentos, proporcionando al conductor información útil sobre el estado operativo del vehículo, lo que contribuye a una conducción más informada, segura y eficiente.

Entre los beneficios adicionales que ofrece el módulo se encuentran:

- Control de potencia y velocidad, para una aceleración progresiva y adaptable.
- Recuperación de energía cinética, que incrementa la eficiencia energética mediante frenado regenerativo.
- Protección del motor frente a sobrecalentamientos o sobrecargas.
- Optimización de la carga y descarga de la batería, extendiendo su vida útil.
- Modularidad y escalabilidad, permitiendo su adaptación a diversas aplicaciones.

La implementación nacional de esta tecnología no solo podría mejorar la eficiencia energética y la autonomía de los vehículos eléctricos, sino también contribuir significativamente a la reducción de emisiones contaminantes,

al tiempo que fortalece la soberanía tecnológica y la capacidad productiva del país en un sector estratégico (CONUEE, 2021).

El desarrollo de este tipo de tecnología contribuiría directamente a la reducción de emisiones contaminantes generadas por vehículos convencionales, al mismo tiempo que impulsa la soberanía tecnológica nacional y abre nuevas oportunidades para el desarrollo industrial en México.

Por estas razones, resulta prioritario avanzar en la investigación, diseño e implementación de prototipos funcionales que puedan integrarse de manera efectiva en vehículos eléctricos nacionales, fomentando un ecosistema más limpio, eficiente e independiente.

#### 4. Objetivos

- General:

Implementar un prototipo funcional de un módulo controlador para motores eléctricos, fabricado en México, que permita gestionar la energía de un banco de baterías y regular su suministro hacia un motor eléctrico, en función de la demanda del usuario y bajo parámetros de seguridad establecidos.

- Específicos:

Seleccionar componentes electrónicos para el control de potencia del motor.

Diseñar un circuito que cumpla con las especificaciones requeridas para el motor y considerando los componentes seleccionados.

Seleccionar componentes adecuados para el sistema de control.

Diseñar un esquema de la plataforma electrónica que incluya los componentes elegidos, fuentes de alimentación y acondicionamiento de señales.

Diseñar la arquitectura del software, identificando los módulos necesarios y las interacciones entre ellos.

Seleccionar sensores adecuados para medir RPM, tensión de arranque y temperatura, teniendo en cuenta la precisión y la robustez requeridas.

Calibrar y configurar los sensores para garantizar mediciones precisas.

Integrar las señales de los sensores en el sistema de control y realizar pruebas de lectura de datos.

Diseñar la arquitectura de comunicación, definiendo los mensajes y protocolos necesarios.

Integrar la comunicación en el sistema de control y establecer la conexión con el panel de instrumentos del vehículo.

Diseñar módulos de software con interfaces flexibles y parámetros configurables.

#### 5. Metodología

- Análisis de requerimientos eléctricos y funcionales del sistema.

- Selección de dispositivos electrónicos disponibles en el mercado nacional.

- Diseño del hardware para la gestión de energía.

- Desarrollo de un software de control modular y escalable.

- Integración y pruebas del prototipo en condiciones simuladas de operación.
- El sistema estará diseñado para responder a la presión ejercida sobre el pedal del acelerador, ajustando la entrega de energía al motor y asegurando un arranque y funcionamiento seguros mediante parámetros predefinidos.
- Pruebas funcionales y parámetros de evaluación.

## 6. Diseño del prototipo

### 6.1. Arquitectura del sistema

En esta sección se describe la arquitectura del sistema desarrollada para este proyecto. La arquitectura define la estructura fundamental del sistema, incluyendo los diferentes componentes que lo conforman, las relaciones entre ellos y su interacción con el entorno y puede observarse en la Figura 1.

Además, establece los principios y directrices que guían la configuración y evolución del sistema a lo largo del tiempo, asegurando su funcionalidad, escalabilidad y adaptabilidad a los requerimientos del proyecto. Esta visión global permite comprender cómo se integran y funcionan los elementos para lograr los objetivos planteados.

### 6.2. Unidad de Control Electrónico (ECU)

La Unidad de Control Electrónico es el cerebro del sistema. Su función principal es procesar la información recibida de los sensores y ejecutar las acciones necesarias para controlar el motor eléctrico. Además, debe comunicarse de manera eficiente con todos los sensores y actuadores mediante un bus de datos, como el CAN Bus, asegurando una operación sincronizada y precisa.

La Raspberry Pi 5 se presenta como una solución ideal para esta tarea. Con su alto poder de procesamiento, flexibilidad y múltiples opciones de conectividad, cumple con todos los requisitos necesarios para actuar como ECU. Su capacidad para comunicarse con sensores y actuadores a través del CAN Bus, junto con su costo-eficiencia, la convierte en una opción práctica y confiable para un sistema de control de motor eléctrico.

### 6.3. Sensor de Temperatura y Encoder

#### Monitoreo de la Temperatura del Motor Eléctrico

El monitoreo de la temperatura del motor eléctrico es clave para evitar el sobrecalentamiento y proteger su rendimiento. Un sensor de temperatura supervisa constantemente los niveles térmicos y envía esta información en tiempo real a la Unidad de Control Electrónico (ECU). Esto permite realizar ajustes preventivos para mantener el motor en condiciones óptimas.

El Transductor de Temperatura AD590 de CI de 2 Terminales se destaca como una excelente elección para esta tarea. Su alta precisión, rápida respuesta y compatibilidad lo convierten en un componente confiable para medir y reportar la temperatura del motor. Además, su diseño robusto y su bajo consumo energético aseguran un monitoreo eficiente y

duradero, ofreciendo una protección efectiva contra el sobrecalentamiento.

Un encoder es el encargado de dar la información de movimiento mecánico al proceso en forma de señal eléctrica. Esta señal suele ser una señal por pulsos, aunque también puede ser una señal analógica. Los encoders se acoplan directamente a los motores o a las poleas, captando el movimiento rotativo de estos elementos y transformándolo en una señal eléctrica analógica o digital que posteriormente es enviada al dispositivo de control, donde se procesa para obtener información precisa sobre la posición, la velocidad o el desplazamiento del sistema.

El encoder magnético adaptado al motor de corriente directa (DC) sirve para medir y controlar con precisión la posición, la velocidad y, en algunos casos, la dirección de rotación del motor. Es una herramienta clave en sistemas que requieren un control preciso de movimiento, como en robótica, automatización industrial, o vehículos eléctricos.

### 6.4. Pedales (Sensor de Posición del Acelerador)

El pedal del acelerador constituye un elemento fundamental en la interfaz hombre-máquina de los vehículos eléctricos, al transformar la acción mecánica del conductor en señales electrónicas interpretables por la Unidad de Control Electrónico (ECU). Mediante sensores de posición, el sistema registra con precisión el grado de presión ejercido y transmite esta información en tiempo real, lo que permite a la ECU regular de manera óptima la entrega de potencia y las revoluciones del motor según la demanda de conducción. La implementación de un sensor resistivo se presenta como una alternativa confiable y eficiente, debido a su diseño robusto, simplicidad constructiva, respuesta lineal y alta durabilidad, características que favorecen un control estable y preciso del motor. Este enfoque no solo asegura un desempeño consistente del vehículo, sino que también contribuye a mejorar la seguridad operativa y la experiencia de conducción en sistemas de electromovilidad.

### 6.5. Llave de Encendido (Switch)

La llave de encendido es el punto de inicio de cualquier viaje. Activa el sistema eléctrico del vehículo, permitiendo que el motor arranque o se detenga según sea necesario. Además, envía una señal a la ECU para informar si el vehículo está encendido o apagado, asegurando que todos los sistemas trabajen en sincronía.

### 6.6. Palanca de cambios (Avance, Neutral, Reversa)

La palanca de cambios permite al conductor elegir el modo de conducción: avance, punto muerto o reversa. Esta elección es comunicada a la ECU, que ajusta el torque del motor según el modo seleccionado, asegurando que el vehículo responda de manera adecuada y segura.

### 6.7. Medidor de Potencia

El medidor de potencia es un dispositivo esencial para monitorear el consumo o la generación de energía eléctrica en

el sistema del vehículo. Mide parámetros clave como voltaje y corriente, proporcionando información vital para el control y diagnóstico del sistema eléctrico.

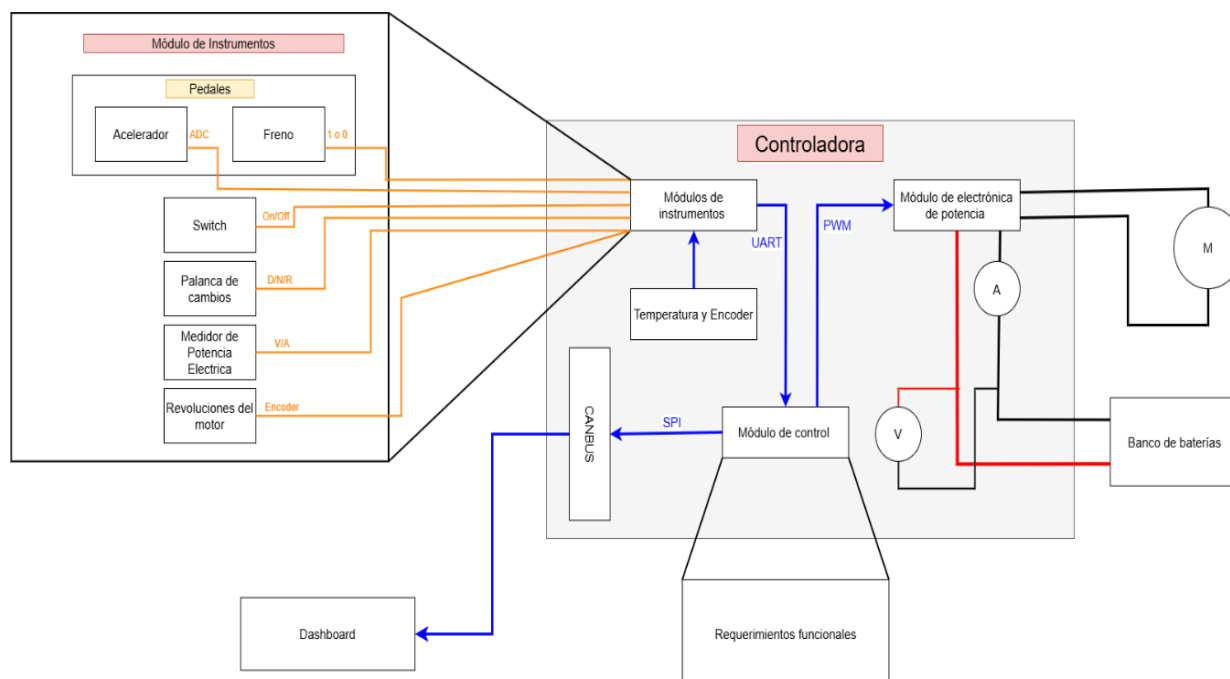


Figura 1: Arquitectura del sistema. Elaboración propia

### 6.8. Microcontrolador

El microcontrolador es el cerebro detrás del módulo de instrumentos. Procesa las señales de los sensores y otros componentes, coordinando las funciones del vehículo de manera eficiente y precisa. Su capacidad para manejar múltiples tareas asegura un rendimiento confiable y estable.

El Microcontrolador PIC18F2550 es un circuito integrado programable capaz de realizar y controlar tareas las veces que desees gracias a la memoria flash de alta resistencia. El MCU cuenta con 8 Bits, 48 MHz, 32 KB, 2 KB, 40 Pines (Figura 2) y pertenece a la familia de microcontroladores PIC18.

El Microcontrolador PIC18F2550 funciona para poder efectuar y/o controlar otros dispositivos, algunas de sus aplicaciones son automatización y control de procesos, comunicaciones y red, electrónica de consumo, diseño embebido y desarrollo, multimedia, dispositivos portátiles, robótica, instrumentación y medida o seguridad.

### 6.9. ESP32

Es una placa de desarrollo de bajo costo con chips de Wi-Fi y Bluetooth integrados. Su característica principal que lo distingue de otras placas de desarrollo es que tiene un microprocesador ESP-WROOM-32 LX6 de doble núcleo de 32 bits. El ESP32 desempeña un papel importante en el desarrollo de aplicaciones basadas en el Internet de las cosas (IoT) al contar con dos tecnologías inalámbricas: Wi-Fi y Bluetooth.

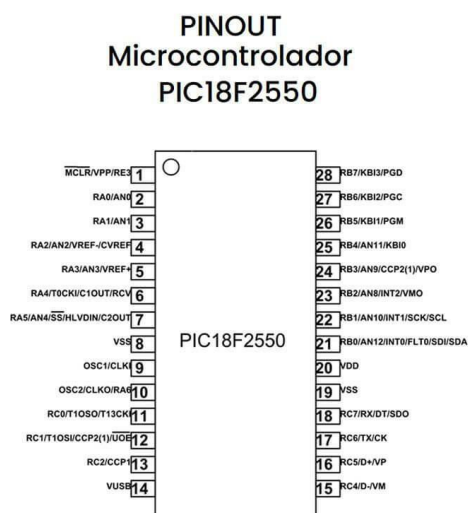


Figura 2: Entradas y salidas de Microcontrolador PIC18F2550

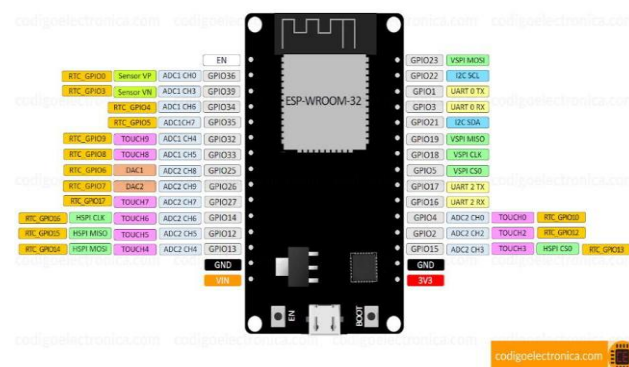


Figura 3: Comunicación, número de entradas y salidas, conexiones al ADC, pinout descriptivo del ESP32.

## 7. Resultados preliminares

Con el propósito de sustentar que el desarrollo de un módulo controlador nacional puede impulsar la independencia tecnológica, reducir costos y promover soluciones locales de movilidad sustentable, se presentan a continuación los principales elementos de análisis:

### 7.1 Análisis de costos

Actualmente, los módulos controladores de motor para vehículos eléctricos disponibles en el mercado internacional presentan un rango de precios de entre 800 y 2,500 USD por unidad, sin considerar los gastos asociados a su importación. En el caso de México, estos costos suelen incrementarse entre un 25% y un 40% debido a aranceles, fletes internacionales y tiempos de entrega, sin considerar la volatilidad actual del entorno geopolítico y sus impactos.

En contraste, el prototipo aquí desarrollado se plantea utilizando dispositivos electrónicos de potencia y microcontroladores disponibles en el mercado nacional, con un costo estimado de 350 a 500 USD por unidad en etapa de prototipo. Se proyecta que, en una fase de producción a mayor escala, este costo podría reducirse hasta un 30% adicional, posicionando la solución como una alternativa económicamente viable frente a la importación.

### 7.2 Análisis tecnológico

El módulo controlador propuesto se diseñó con un enfoque modular y escalable, lo que permite su adaptación a diferentes configuraciones de motores eléctricos utilizados en vehículos ligeros. A diferencia de los módulos importados, que suelen estar cerrados a modificaciones, el diseño abierto de este prototipo facilita la integración de algoritmos de control personalizados y la compatibilidad con bancos de baterías de distinta capacidad.

Además, se estima que al menos el 70% de los componentes electrónicos necesarios pueden adquirirse en el mercado nacional, reduciendo significativamente la dependencia del suministro internacional.

### 7.3 Impacto sustentable

El desarrollo de este tipo de módulos en México no solo responde a una necesidad técnica, sino que además impulsa la independencia tecnológica nacional en un sector estratégico como la electromovilidad. Entre los beneficios identificados se encuentran:

- Creación de un ecosistema local de mantenimiento y soporte técnico.
- Capacitación de ingenieros nacionales en electrónica de potencia y control de motores.
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al promover la adopción de vehículos eléctricos ligeros.

Se calcula que un vehículo convertido de combustión interna a eléctrico con este módulo puede reducir hasta 2.5

toneladas de CO<sub>2</sub> por año, considerando un consumo promedio de 12 km/L en vehículos de combustión.

### 7.4 Descripción del primer prototipo electrónico en PCB

En la Figura 4 se presenta el diseño de la placa controladora del vehículo eléctrico. En esta arquitectura, el ESP32 y el PIC18F2550 se encuentran interconectados mediante sus respectivos puertos UART, lo que permite una comunicación bidireccional eficiente entre ambos dispositivos. El PIC18F2550 es responsable de adquirir las señales provenientes de la palanca de cambios, el encoder y dos interruptores digitales (on/off). Es importante destacar que todas estas señales se ajustan a un nivel máximo de 3.3 V, garantizando su correcta lectura y evitando daños en la circuitería.

La señal de la palanca de cambios se codifica en un formato digital simplificado:

- 100 corresponde a neutral,
- 110 a reversa,
- 011 a drive.

En el caso del encoder, se aplica el cálculo:

Pulsos después de la reducción = Pulsos por revolución × Relación de reducción.

Por cada giro del rotor, el encoder genera 22 pulsos. Considerando una relación de reducción de 1:34, se obtiene un total de 748 pulsos por revolución del rotor, lo que proporciona una resolución adecuada para el control de velocidad y torque del motor eléctrico.

El ESP32, además de recibir esta información procesada por el PIC18F2550, integra las señales provenientes de los sensores de pedales, amperímetros y voltímetros. Estos últimos permiten monitorear en tiempo real los niveles de tensión y corriente suministrados al motor. Con base en esta información, el ESP32 ejecuta los casos de uso definidos para la operación del vehículo eléctrico, asegurando condiciones seguras de arranque, aceleración y operación.

El sistema incorpora un módulo CAN Bus, lo que amplía su capacidad de integración con distintos componentes y subsistemas del vehículo, ofreciendo así una plataforma flexible y escalable para futuras mejoras en el ámbito de la electromovilidad y la innovación tecnológica en controladores para EVs.

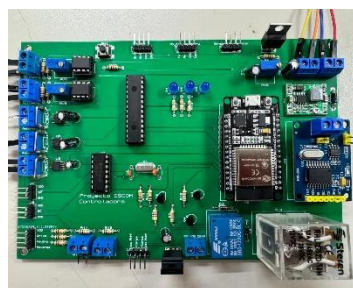


Figura 4: Desarrollo de placa PCB de que refleja la arquitectura general. Elaboración propia.

### 7.5 Descripción del primer prototipo de interfaz

A continuación, se muestra ejemplo de la primera versión de la interfaz de software en la que se puede apreciar los elementos de control activados y características generales censadas como: Revoluciones por minuto (RPM), velocidad en kilómetros por hora.

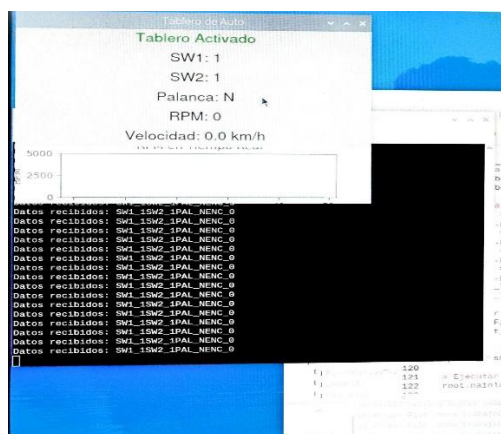


Figura 5: Interfaz de software. Elaboración propia.

## 8. Resultados esperados y beneficios

Se espera que el módulo controlador diseñado cumpla con las necesidades básicas de tracción para vehículos eléctricos ligeros, utilizando mayoritariamente componentes disponibles en México. Además, se prevé que el software pueda adaptarse a distintos tipos de vehículos eléctricos, promoviendo la escalabilidad del sistema. El diseño también busca reducir significativamente los costos en comparación con soluciones importadas y facilitar el mantenimiento local.

## 9. Conclusiones

El desarrollo de un módulo controlador nacional representa un paso importante hacia la independencia tecnológica en el sector de la movilidad eléctrica en México. Este proyecto tiene el potencial de fomentar la creación de una cadena de valor nacional, facilitar la adopción de vehículos eléctricos y reducir la dependencia de componentes extranjeros, al tiempo que impulsa la innovación y el desarrollo de talento local.

### Puntos destacados del artículo

#### 1. Desarrollo nacional de tecnología clave

Se propone el diseño de un módulo controlador de motores eléctricos fabricado íntegramente en México, con el objetivo de reducir la dependencia tecnológica del extranjero en un sector estratégico como el de la movilidad eléctrica.

#### 2. Aprovechamiento del mercado electrónico nacional

El prototipo se construye utilizando componentes electrónicos disponibles en el mercado local, lo que disminuye los costos de producción y facilita el mantenimiento y escalabilidad del sistema dentro del contexto mexicano.

#### 3. Software modular y escalable

Se desarrolla un sistema de control flexible que permite su adaptación a distintos tipos de vehículos eléctricos, lo cual amplía el potencial de aplicación del módulo y favorece futuras actualizaciones tecnológicas.

#### 4. Contribución a la movilidad sustentable

Al fomentar el desarrollo de soluciones locales para vehículos eléctricos, el artículo se alinea con los objetivos globales de sostenibilidad, eficiencia energética y reducción de emisiones contaminantes.

#### 5. Solución a barreras económicas y técnicas actuales

La investigación aborda de forma directa los problemas derivados de la importación de controladores, tales como altos costos, tiempos de entrega prolongados y falta de soporte técnico, proponiendo una alternativa viable y contextualizada.

### Sugerencias para mejorar o extender el proyecto:

- Integración con sistemas de recuperación de energía
- Compatibilidad con distintos tipos de motores
- Desarrollo de versiones comerciales
- Certificación o normativas

## Referencias

- BloombergNEF. (2022). *Electric Vehicle Outlook 2022*. Bloomberg Finance L.P. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- Chan, C. C. (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704–718. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489>
- Ehsani, M., Gao, Y., & Longo, S. (2018). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles* (3rd ed.). CRC Press.
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- Sharma, R., & Ramesh, M. V. (2021). Battery management systems for electric vehicles: A review. *Journal of Energy Storage*, 35, 102255. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102255>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2023). *Boletines y comunicados sobre contingencias ambientales 2022–2023*. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2023). *Informe Nacional de Calidad del Aire 2022*. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/informes-de-calidad-del-aire>