

Tipo de artículo: artículo de investigación

<https://doi.org/10.47460/uct.v29i127.971>

Control difuso y control basado en reglas para la gestión de la energía en vehículos eléctricos híbridos

José Efrén Barbosa Galarza*
<https://orcid.org/0009-0009-4706-4697>
jose.barbosa@utc.edu.ec
Universidad Técnica de Cotopaxi
Latacunga, Ecuador

Daniel Gomez Muñoz
<https://orcid.org/0009-0007-6886-0049>
munoz@rptu.de
Universidad Técnica de Renania
Palatinado de Kaiserslautern-Landau
Kaiserslautern-Alemania

José Efrén Barbosa Costales
<https://orcid.org/0009-0008-3307-4467>
jbarbosa@rptu.de
Universidad Técnica de Renania
Palatinado de Kaiserslautern-Landau
Kaiserslautern-Alemania

Obaidullah Yadgar
<https://orcid.org/0009-0002-2857-8165>
yadgar@rptu.de
Universidad Técnica de Renania
Palatinado de Kaiserslautern-Landau
Kaiserslautern-Alemania

**Autor de correspondencia: jose.barbosa@utc.edu.ec*

Recibido (13/02/2025), Aceptado (11/04/2025)

Resumen: En este artículo se presenta el diseño y la simulación de un control difuso y un control basado en reglas para la gestión de la energía en un vehículo eléctrico híbrido suave en paralelo. El sistema de gestión tiene que minimizar el consumo de combustible al tiempo que asegura el mantenimiento de la carga y garantiza las limitaciones de los componentes. Para evaluar el rendimiento del control se utiliza un consumo de combustible equivalente, que penaliza el uso de energía eléctrica de la batería y el consumo de combustible, pero no recompensa el almacenamiento de energía eléctrica en la batería. El modelo presentado fue probado en dos ciclos de conducción diferentes, Europa: NEDC y USA: FTP-75 con una eficiencia del 17,6% y 18,3% respectivamente. Sin embargo, este resultado podría mejorarse con más pruebas y estimación de errores más profundas, así como simulaciones más avanzadas. Además, se pueden agregar más reglas al modelo propuesto, lo que le da a este enfoque una funcionalidad escalable.

Palabras clave: gestión de la energía, vehículos híbridos, control difuso, control basado en reglas.

Fuzzy Control and Rule-Based Control for Energy Management in Hybrid Vehicles

Abstract.- This paper presents the design and simulation of fuzzy control and rule-based control for energy management in a parallel mild hybrid electric vehicle. The management system must minimize fuel consumption while ensuring load maintenance and ensuring component limitations. Equivalent fuel consumption is used to evaluate control performance, which penalizes the battery's use of electrical energy and fuel consumption but does not reward the storage of electrical energy in the battery. The presented model was tested in two different driving cycles, Europe: NEDC and USA: FTP-75 with an efficiency of 17.6% and 18.3% respectively. However, this result could be improved with more in-depth testing and error estimation, as well as more advanced simulations. In addition, more rules can be added to the proposed model, giving this approach scalable functionality.

Keywords: energy management, hybrid vehicles, fuzzy control, rule-based control.



I. INTRODUCCIÓN

El vehículo eléctrico híbrido (HEV) se caracteriza por el empleo conjunto de un motor de combustión interna (ICE) y un motor eléctrico (EM) como sistemas de propulsión. Esta configuración brinda los beneficios tanto de un vehículo eléctrico (EV) como de un vehículo convencional (CV), al tiempo que reduce el consumo de combustible, las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación acústica. Además, desde la perspectiva del cliente, el HEV ofrece una mayor autonomía que un EV y se recarga de manera similar a un CV, eliminando así la necesidad de esperar largos tiempos de carga [1]. Para maximizar el rendimiento de esta estructura, es crucial implementar una estrategia de control adecuada que garantice el óptimo funcionamiento de ambas fuentes de energía. Estos controladores suelen clasificarse en dos categorías principales: basados en reglas y basados en optimización. Los primeros determinan la salida adecuada según la entrada medida y reglas predefinidas, mientras que los segundos emplean entradas medidas, parámetros externos, perfil de misión y hábitos del conductor para prever el comportamiento del vehículo [2].

Los vehículos eléctricos híbridos (HEV) representan una innovadora respuesta a los desafíos contemporáneos en eficiencia energética y sostenibilidad en el transporte. Esta tecnología, que combina motores de combustión interna y eléctricos, ha despertado un considerable interés en la comunidad científica y tecnológica. Según lo planteado en la referencia [3], la integración de estos sistemas de propulsión en los HEV conlleva una mejora sustancial en la eficiencia del consumo de combustible y una notable reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero. Los HEV ofrecen una gama de ventajas que los hacen atractivos tanto desde una perspectiva medioambiental como económica. Khayyam y sus colaboradores [4] subrayan su capacidad para aumentar la eficiencia energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, mientras que Armenta-Déu [5] advierte sobre la importancia crítica de implementar estrategias de control efectivas para optimizar su rendimiento y superar los desafíos inherentes a su complejidad técnica. En este sentido, los controladores juegan un papel fundamental en el funcionamiento eficiente de los HEV. Aljohani [6] señala que los controladores basados en reglas son eficaces para determinar la salida del sistema en función de condiciones predefinidas, mientras que los controladores basados en optimización utilizan algoritmos avanzados para ajustar dinámicamente los parámetros del sistema y optimizar el rendimiento en tiempo real. A medida que la tecnología avanza, se abren nuevas perspectivas para el desarrollo y la aplicación de los HEV. Dalhoumi y su equipo [7] sugieren que el desarrollo de sistemas de control predictivo basados en modelos ofrece una vía prometedora para mejorar aún más la eficiencia y la dinámica de conducción de estos vehículos, lo que podría expandir significativamente su alcance y versatilidad en una variedad de entornos de conducción.

Considerando el potencial significativo de los vehículos eléctricos híbridos como una solución viable y efectiva para abordar los desafíos actuales en movilidad sostenible y eficiencia energética y su continuo desarrollo y optimización que prometen un futuro más limpio y sostenible para el transporte moderno, en este trabajo, se desarrolla la arquitectura de un HEV y el sistema utilizado para este, además, se explican los diferentes modos de operación implementados en la estrategia de control, continuando con una explicación de los métodos de control que se diseñaron, finalizando con la implementación de la simulación y sus resultados.

II. DESARROLLO

Los vehículos eléctricos híbridos suaves en paralelo (PHEV por sus siglas en inglés, Parallel Hybrid Electric Vehicles) son una variante de los vehículos híbridos que combinan un motor de combustión interna con uno o varios motores eléctricos para propulsión. A diferencia de los vehículos híbridos convencionales, donde el motor eléctrico y el motor de combustión interna trabajan de manera conjunta para propulsar el vehículo, en los PHEV suaves en paralelo, el motor eléctrico es principalmente utilizado para asistir al motor de combustión interna en la propulsión del vehículo. De esta manera, la configuración en paralelo implica que tanto el motor de combustión interna como el motor eléctrico pueden propulsar el vehículo de manera independiente o en conjunto, dependiendo de la situación de conducción y de las demandas de energía. En comparación con los vehículos híbridos convencionales, los PHEV suaves en paralelo suelen tener una capacidad de propulsión eléctrica limitada y utilizan sistemas de baterías más pequeños, lo que resulta en un menor rango de conducción puramente eléctrico.

La principal ventaja de los PHEV suaves en paralelo radica en su capacidad para mejorar la eficiencia del combustible al proporcionar asistencia eléctrica al motor de combustión interna durante la aceleración y la conducción a velocidades constantes. Esto puede resultar en una reducción significativa en el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes, especialmente en entornos urbanos donde las velocidades de conducción son más bajas y la regeneración de energía es más efectiva. Otra ventaja importante de los PHEV suaves en paralelo es su capacidad para recuperar energía cinética durante el frenado y la desaceleración, utilizando sistemas de frenado regenerativo para convertir la energía cinética en energía eléctrica que se almacena en la batería para su posterior uso. Esto contribuye a mejorar aún más la eficiencia del vehículo y reduce el desgaste de los frenos convencionales. Estas razones hacen que los vehículos eléctricos híbridos suaves en paralelo representen una opción viable para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de gases contaminantes en el transporte urbano y de carretera, al tiempo que ofrecen una mayor flexibilidad y autonomía en comparación con los vehículos eléctricos de batería pura.

A. Descripción del sistema

El modelo utilizado en este trabajo es un Vehículo Eléctrico Híbrido Suave en Paralelo con las siguientes características:

- Mercedes-Benz A 170 CDI.
- Motor diésel.
- Motor síncrono de imanes permanentes.
- Batería de iones de litio.
- Caja de cambios manual (5 velocidades).
- Embrague de fricción.

La representación en bloque de la arquitectura se muestra en la Fig.1.

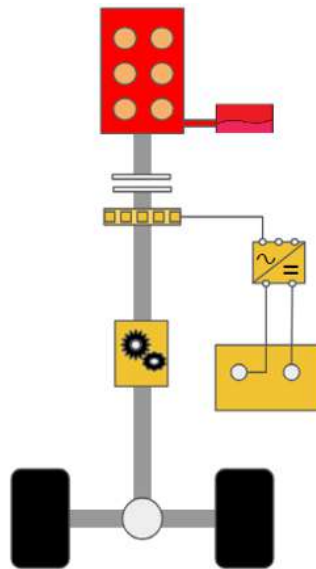


Fig. 1. Representación de bloques de vehículos eléctricos híbridos suaves en paralelo [8].

El flujo de simulación es hacia atrás, lo que significa que comienza con un ciclo impulsado. Además, se utilizan dos ciclos de controlador: el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo de la UE (NEDC) y el Procedimiento de Prueba Federal de la EPA de EE. UU (FTP-75). A partir del ciclo de conducción, se obtienen la velocidad y la aceleración y se utilizan como entradas para el bloque del vehículo que genera la velocidad angular de la rueda (ω_{wheel}), la aceleración angular de la rueda ($d\omega_{wheel}$) y el par de la rueda (T_{wheel}). Con estos parámetros y el número de marcha i , el bloque de la *caja de cambios manual* calcula los parámetros del volante (velocidad angular, aceleración angular y par). Los parámetros del volante son las señales de entrada para la *unidad de control*. Este módulo fue diseñado y probado durante este trabajo. El bloque del *motor de combustión* y el bloque del *motor eléctrico* utilizan la salida de la unidad de control para generar un consumo de energía completo.

El flujo de simulación se presenta en la Fig. 2. Este sirve para modelar y evaluar el comportamiento del sistema de propulsión del vehículo en diversas condiciones de conducción y escenarios operativos. Este flujo de simulación es una herramienta fundamental en el desarrollo y optimización de los PHEV, ya que permite a los ingenieros y diseñadores prever el rendimiento del vehículo, identificar áreas de mejora y validar el diseño antes de la fabricación y prueba física. Algunas de las funciones específicas que cumple el flujo de simulación de un PHEV son:

- Modelado del sistema de propulsión: Permite crear modelos matemáticos detallados de todos los componentes del sistema de propulsión del PHEV, incluyendo el motor de combustión interna, el motor eléctrico, la transmisión, la batería y los sistemas de control.
- Predicción de eficiencia y rendimiento: Permite prever la eficiencia del consumo de combustible, la autonomía en modo eléctrico, el rendimiento de aceleración y velocidad máxima del vehículo en diferentes condiciones de conducción y escenarios operativos.
- Optimización del sistema de control: Facilita el desarrollo y ajuste de algoritmos de control para el sistema de propulsión, como la gestión de la energía, la distribución de torque entre el motor de combustión interna y el motor eléctrico, y la estrategia de recarga de la batería.
- Análisis de sensibilidad: Permite realizar análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de diferentes parámetros de diseño y condiciones de operación en el rendimiento y eficiencia del vehículo.

- Validación y verificación del diseño: Permite verificar y validar el diseño del sistema de propulsión del PHEV mediante la comparación de los resultados de la simulación con datos experimentales obtenidos de pruebas en bancos de pruebas y pruebas en carretera.

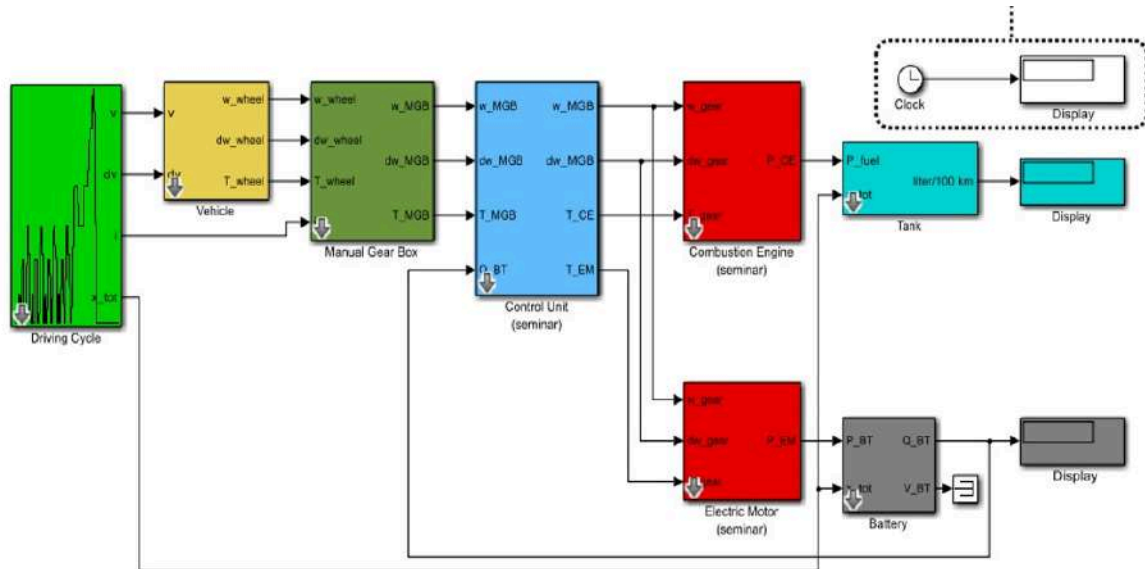


Fig. 2. Flujo de simulación del modelo [8].

III. METODOLOGÍA

A. Torque-Split Ratio

La relación de división de par es una de las señales de control y define cuánto del par deseado dan el motor y el motor. Esta relación se presenta en la ecuación 1.

$$U = \frac{T_{EM}}{T_{MGB}} \quad (1)$$

Donde T_{EM} : es el par del motor eléctrico en Nm (Newton por metros). T_{MGB} es el par del volante en Nm. Al cambiar u en condiciones específicas, se pueden lograr diferentes modos de funcionamiento.

B. Modos de Operación

1) Condiciones del Load Point Shifting:

$$T_{MGB} > 0 \wedge 0 \leq u < 1, \text{ Motor - Mode} \quad (2)$$

$$T_{MGB} > 0 \wedge u > 0, \text{ Generator - Mode} \quad (3)$$

La representación en bloque de este modo de operación se presenta en Fig. 3.

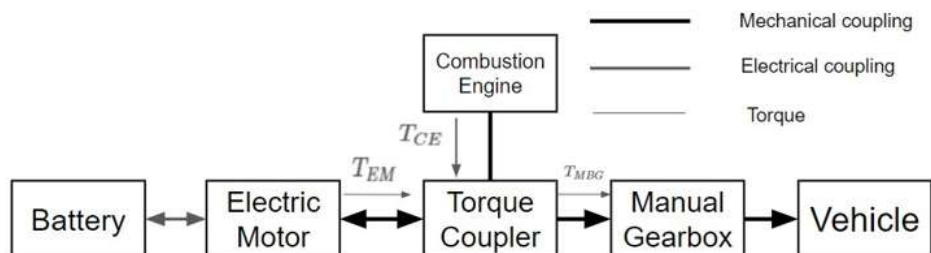


Fig. 3. Representación de bloques de desplazamiento de puntos de carga [3].

El sistema tiene dos modos: el modo motor y el modo generador. En el primero, el motor eléctrico impulsa al motor a combustión para reducir la carga. En otro modo, el motor eléctrico actúa como generador, aumentando la carga del motor.

2) Condiciones de la generación

$$T_{MGB} < 0 \wedge u = 1, \text{ Regenerative - mode} \quad (4)$$

$$T_{MGB} < 0 \wedge 0 \leq u < 1, \text{ Reg. + friction - mode} \quad (5)$$

La representación en bloque de este modo de operación se presenta en Fig. 4. En el modo Regenerativo, el motor trabaja reduciendo la velocidad del carro. En el modo *Reg. + friction* el motor es utilizado para detener el carro.

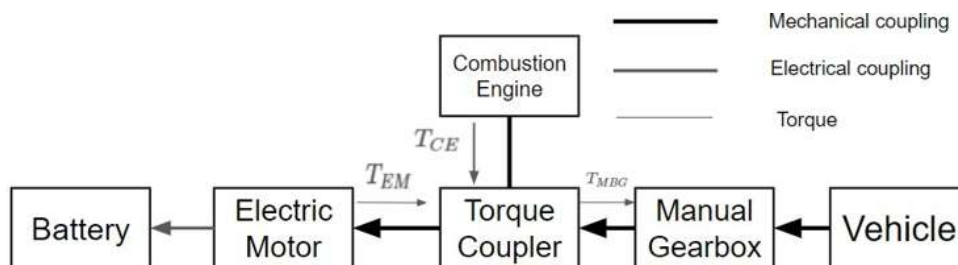


Fig. 4. Representación de bloques en modo regenerativo [8].

3) Condiciones Electric Driving

$$T_{MGB} > 0 \wedge u = 1, \text{ Electric- mode} \quad (6)$$

En *Electric mode* solo se utiliza el motor eléctrico para la propulsión del automóvil (fig. 5).

1. *Start-Stop Mode*: El motor se apaga durante el ralentí para reducir el consumo de combustible. Para arrancar el motor se utiliza el motor eléctrico, por esa razón, la batería no debe estar baja para lograr este modo de funcionamiento.
2. *Conventional Engine Mode*: El vehículo es alimentado solo por el motor y el motor eléctrico está apagado. En este modo, el Torque - Split Ratio es cero.

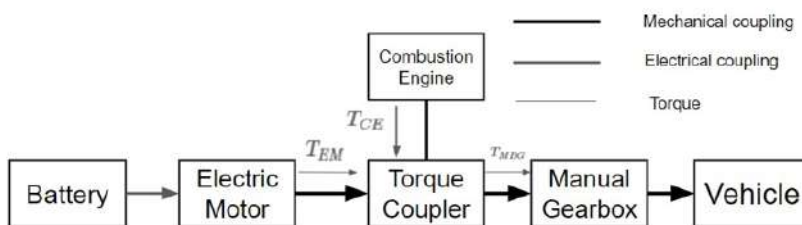


Fig. 5. Representación del bloque motor eléctrico [8].

4) Control basado en reglas

En una estrategia de control clásica, se debe estimar un modelo de la planta a controlar para controlarla de manera eficiente, además, se debe utilizar cierto nivel de manipulación matemática dependiendo de la complejidad del enfoque. El Control Basado en Reglas aborda este problema directamente, utiliza el conocimiento previo del usuario para derivar reglas simples que definirán la salida deseada del sistema, eliminando así la necesidad de una descripción matemática del sistema ya que solo se necesita el comportamiento deseado [9].

C. Control difuso

Un control difuso calcula la señal de control en función de la lógica difusa [10] Parámetros

- El número de entradas.
- Para cada entrada, el número de términos lingüísticos n y las funciones de pertenencia.
- Para la salida, el número de términos lingüísticos n_y y las funciones de pertenencia.

Se han implementado dos enfoques diferentes, el basado en reglas y el control difuso, para controlar la relación de división de par y el estado del ICE. La salida del controlador basado en reglas es la relación de división de par (u) que determina la contribución del motor eléctrico al movimiento del vehículo en diferentes modos de funcionamiento. La salida del controlador difuso es el estado de ICE (estado CE) que indica si el ICE está encendido o apagado.

1) Diseño de un bloque de función difuso

Dado que se ha implementado la ley difusa para determinar el estado de ICE, las entradas son el par requerido (T_{MGB}) y el estado de carga de la batería ($state_{CE}$). El primer paso para diseñar una función difusa es determinar las variables lingüísticas. Para controlar el estado CE, el par requerido (T_{MGB}) y el estado de carga de la batería (SoC) se consideran variables lingüísticas. Una vez determinadas las variables lingüísticas, el siguiente paso es asignar las variables numéricas a los términos lingüísticos representados por la función de pertenencia. Las funciones de pertenencia de las variables lingüísticas se muestran en la Figs. 6 se puede ver que T_{MGB} tiene cinco funciones de membresía que van de -110 Nm a 120 Nm y SoC tiene tres funciones de membresía que van de 0 a 1.

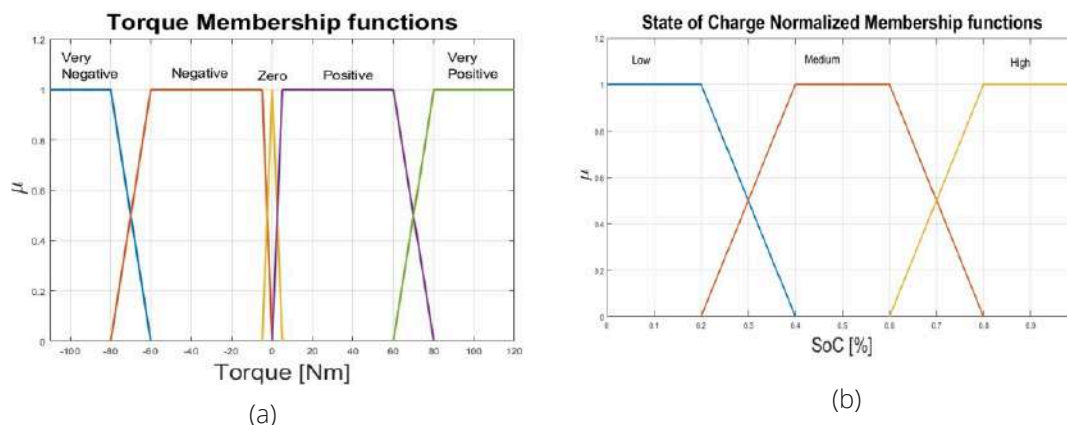


Fig. 6. (a) Funciones de pertenencia a Torque (b) Funciones de pertenencia a SoC

Las reglas difusas generadas en base a la experiencia (ciclo de conducción) y el conocimiento son:

if $T_{MGB} = 0$ *AND* $SoC = low$ *then* $state_{CE} = 0$

if $T_{MGB} = 0$ *OR* $SoC = low$ *then* $state_{CE} = 1$

Sobre la base de la ley difusa, se determina la salida. Dado que la salida es solo 0 o 1, se ha agregado un bloque de relé en la salida del controlador difuso para convertir el resultado por debajo de 0.5 a 0 y por encima de 0.5 a 1.

2) Diseño del control basado en reglas

Para poder controlar la relación de división de par (u) se utilizó como entrada el par deseado de la caja de cambios manual, la velocidad angular, la aceleración angular y la carga de la batería, estos valores se utilizaron para determinar el estado del ICE y definir el modo de funcionamiento apropiado que debe utilizarse. El cambio de punto de carga se activa cuando el par es positivo y superior al umbral mínimo, y la carga de la batería es superior al mínimo. En esta situación, la relación de división de par se define mediante la siguiente ecuación.

Si el par es positivo pero pequeño, y la batería no está al máximo de carga, entonces el motor tiene que funcionar en modo generador.

$$u = 0 \quad (7)$$

En caso de que el motor tenga par negativo, se activa el modo de regeneración, donde u debe seguir el comportamiento de la siguiente ecuación.

$$\mu_{agg}(x, y) = \mu_a(x) \cap \mu_b(x) \quad (8)$$

La conducción eléctrica funciona cuando la batería está por encima del mínimo, el par es inferior a 27 Nm y la velocidad es inferior a 18 m/s, para este caso, u toma el valor de 1. Finalmente, si no se activa ninguna de las condiciones, u es igual a 0, lo que significa que el vehículo está funcionando en modo de conducción convencional. En la Fig.7 se presenta el diagrama del módulo del controlador, que incluye el control basado en reglas y el control difuso.

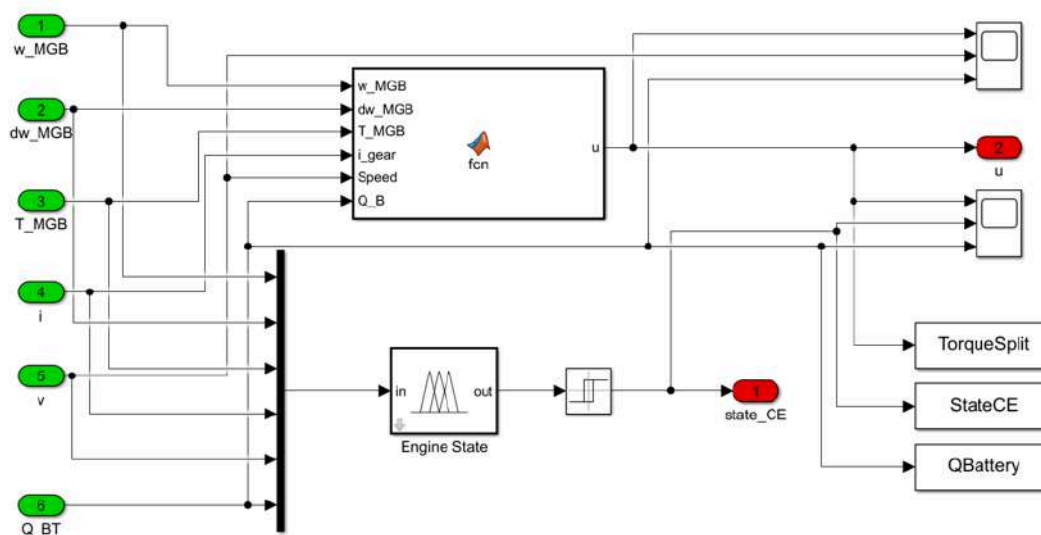


Fig. 7. Diagrama del módulo del controlador.

IV. RESULTADOS

El controlador, presentado en este artículo, se probó en dos ciclos de conducción diferentes.

A. Ciclo de conducción: NEDC europeo

El resultado de la simulación para este ciclo de conducción se presenta en las Fig. 8.

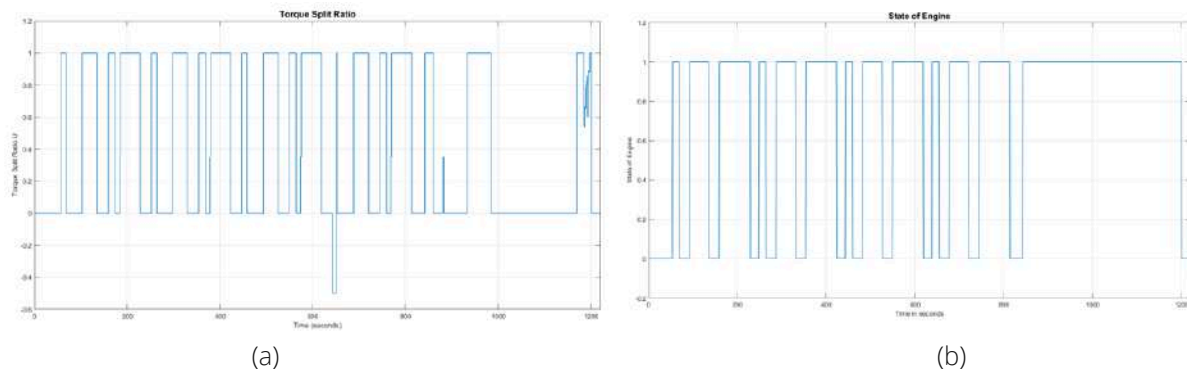


Fig. 8. (a) Simulación de la relación de división de par (b) Simulación del estado del motor.

Además, se pudo ver cómo el valor de u varía de -0.6 a 1 de acuerdo con los diferentes requisitos de conducción, por ejemplo, al acelerar desde parado u se establece igual a 1 ya que a baja velocidad el ICE tiene baja eficiencia, adicionalmente al mantener una velocidad constante la relación Torque-Split tiene un valor de 0, por lo tanto, funcionando en Conducción Convencional, y al desacelerar u toma el valor de 1 indicando que el motor está siendo utilizado como generación para frenar. Además, se necesita una alta desaceleración, se utiliza una combinación de fricción y frenado del motor estableciendo el valor de u menor que 1. Es importante tener en cuenta que, para este ciclo de conducción, el consumo de combustible equivalente del vehículo es de 3.708 litros/100 km.

B. Ciclo de conducción: USA FTP-75

El resultado de la simulación para este ciclo de conducción FT-75 se presenta en la Fig. 12.

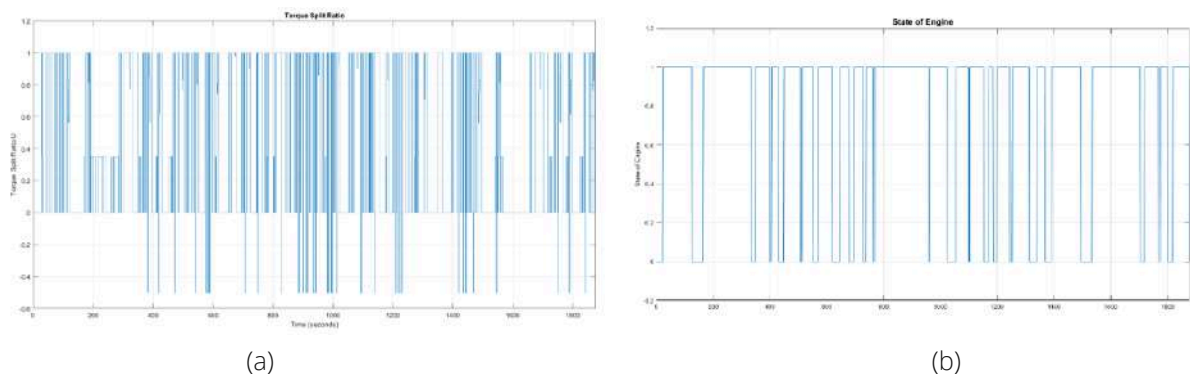


Fig. 9. 16. (a) Relación de división de par. (b) Estado del motor.

De manera similar al caso del ciclo de conducción NEDC, se puede observar que los diferentes modos de conducción se van activando según el comportamiento deseado, por ejemplo cuando se necesita una aceleración rápida (se requiere un par más alto) se activa el LPS utilizando el motor en modo motor, además, a velocidades más altas se puede ver que se activa la conducción convencional y u toma un valor de 0, por lo tanto, no se utiliza el motor, y, cuando se necesita una baja aceleración a bajas velocidades, u toma un valor negativo activando LPS utilizando el motor como generador y aumentando la carga sobre el ICE. Para este ciclo de conducción, el consumo de combustible equivalente obtenido fue de 3.578 litros/100 km.

C. Comparación

El sistema de gestión de energía activa diferentes modos de conducción según el comportamiento deseado del conductor. Por ejemplo, cuando se necesita una aceleración rápida, se activa el modo LPS utilizando el motor en modo motor para proporcionar un par más alto. Esto indica una lógica de control que considera las demandas de potencia del conductor y ajusta el modo de operación en consecuencia.

A velocidades más altas se activa la conducción convencional, lo que implica que el sistema de gestión de energía adapta su funcionamiento dependiendo de la velocidad del vehículo. Esto indica una regla de control que establece diferentes modos de conducción según la velocidad para optimizar la eficiencia del sistema.

Cuando se necesita una baja aceleración a bajas velocidades, se indica que se activa el modo LPS utilizando el motor como generador, aumentando la carga sobre el motor de combustión interna (ICE). Esta estrategia implica un uso inteligente de la energía cinética del vehículo para recargar la batería, lo que sugiere un control difuso que considera múltiples variables, como la velocidad, la aceleración y la carga de la batería, para tomar decisiones óptimas.

Un valor de consumo de combustible equivalente de 3.578 litros/100 km para este ciclo de conducción es el producto de las estrategias de control implementadas por el sistema de gestión de energía, que busca minimizar el consumo de combustible al tiempo que satisface las demandas de potencia del conductor.

CONCLUSIONES

El sistema de gestión de energía es capaz de ajustar dinámicamente la operación del vehículo en función de los diferentes requisitos de conducción. La variación del valor de "u" de -0.6 a 1 demuestra una adaptabilidad significativa del sistema para optimizar el rendimiento del vehículo en diversas situaciones. Por otra parte, el valor de "u" se ajusta en función de la eficiencia del motor en diferentes condiciones de conducción. Por ejemplo, cuando se acelera desde el reposo y el motor de combustión interna (ICE) tiene baja eficiencia, "u" se establece en 1 para activar el modo motor. Este enfoque demuestra una consideración precisa de la eficiencia del motor para maximizar la economía de combustible.

El hecho de que "u" tome un valor de 1 al desacelerar, indicando que el motor se utiliza como generador para frenar, muestra la implementación eficiente de la frenada regenerativa. Esta tecnología ayuda a recuperar energía durante la desaceleración, lo que contribuye a mejorar la eficiencia general del vehículo. Además, cuando se requiere una alta desaceleración, se utiliza una combinación de frenado por fricción y frenado del motor, con "u" tomando un valor menor que 1. Esta estrategia demuestra una integración inteligente de diferentes métodos de frenado para maximizar la eficiencia y el rendimiento del sistema de frenado.

A partir del resultado obtenido tras aplicar el controlador Rule-Based se ha conseguido un incremento relativamente grande de alrededor del 18% en ambos ciclos de conducción, lo que demuestra que la determinación de los diferentes modos de conducción de un Parallel Mild Hybrid Electric. El vehículo basado en la experiencia es una solución viable para la optimización del consumo de combustible. También, es importante tener en cuenta que, aunque esta metodología no resuelve la tarea con un enfoque matemático, tiene la ventaja de que no se necesita un modelo matemático del sistema para crear las reglas, ya que se trata de un enfoque empírico, por lo que es fácilmente escalable al introducir más reglas según se considere oportuno.

Por otra parte, una mejora de este proyecto podría lograrse definiendo, sobre la base del desempeño del ICE, todas las regiones específicas en las que deberían activarse los diferentes modos de operación y añadiéndolas a las reglas. Además, las perspectivas de futuro para la investigación en el campo de la gestión de la energía en vehículos eléctricos híbridos son muy prometedoras. A medida que la industria automotriz avanza cada vez más hacia la electrificación, la demanda de estrategias efectivas de gestión de la energía se vuelve cada vez más crítica. La investigación futura puede centrarse en la integración del aprendizaje automático y las técnicas de IA, como el aprendizaje por refuerzo, para crear sistemas de auto optimización. También se puede integrar el análisis de datos en tiempo real para mejorar la adaptabilidad y la capacidad de respuesta. En resumen, el futuro tiene un gran potencial para avanzar en las estrategias de control de la gestión de la energía, contribuyendo significativamente al desarrollo de sistemas de transporte sostenibles.

REFERENCIAS

- [1] H. Khayyam, A. Z. Kouzani y E. J. Hu, «An intelligent energy management model for a parallel hybrid vehicle under combined loads,» de IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, Colimbus, USA, 2008.
- [2] M. Zand, M. A. Nasab, A. Hatami, M. Kargar y H. R. Chamorro, «Using Adaptive Fuzzy Logic for Intelligent Energy Management in Hybrid Vehicles,» de 2020 28th Iranian Conference on Electrical Engineering, Tabriz, Irán, 2020.
- [3] M. Farrag, C. S. Lai, M. Darwish y T. Gareth, «Improving the Efficiency of Electric Vehicles: Advancements in,» Vehicles, vol. 6, nº 2024, pp. 1089-1113, 2024.
- [4] A. Recalde, R. Cajo, W. Velasquez y M. S. Alvarez-Alvarado, «Machine Learning and Optimization in Energy Management Systems for Plug-In Hybrid Electric Vehicles: A Comprehensive Review,» Energies, vol. 17, nº 13, p. 3059, 2024.
- [5] C. Armenta-Déu, «Battery Management for Improved Performance in Hybrid Electric Vehicles,» Vehicles, vol. 6, nº 2, pp. 949-966, 2024.
- [6] T. Aljohani, «Intelligent Type-2 Fuzzy Logic Controller for Hybrid Microgrid Energy Management with Different Modes of EVs Integration,» Energies, vol. 12, nº 17, p. 2949, 2024.
- [7] L. Dalhoumi, M. Chtourou y M. Djemel, «Model based predictive control for linear interconnected systems,» de IEEE SSD International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, Leipzig, Germany, 2016.
- [8] S. K. Chada, D. Görges y A. Ebert, «Deep Learning-Based Vehicle Speed Prediction for Ecological Adaptive Cruise Control in Urban and Highway Scenarios,» IFAC-PapersOnLine, vol. 56, nº 2, pp. Pages 1107-1114, 2023.
- [9] N. Mort, S. Cater y D. Langbridge, «Experiences with rule-based control algorithms in a teaching laboratory and a diesel engine test cell,» de IEE Colloquium on Exploiting the Knowledge Base: Applications of Rule Based Control, London, UK, 1989.
- [10] P. Zhang, Advanced Industrial Control Technology, Oxford, UK: Springer, 2010.