

CONFIGURACIÓN DE PROPULSIÓN DE LOS VEHÍCULOS CONVENCIONALES, HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS.

PROPULSION CONFIGURATION OF CONVENTIONAL, HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES.

Brian Daniel Vélez Salazar¹

¹Instituto Superior Universitario Central Técnico
e-mail : bvelez@istct.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, X Edición 2021, No. 1 (09)

Resumen

El crecimiento de la conciencia medioambiental a nivel mundial ha influenciado a los diferentes aspectos del ser humano, siendo uno de ellos la movilidad; esperando así, que los vehículos utilizados sean lo más eficiente posibles en el uso de la energía, por lo cual, el presente trabajo se concentra en uno de los componentes principales de los vehículos como lo es el tren de propulsión, el cual varía en función del tipo de vehículo, y de las características que requiere cada una de las tecnologías implementadas para el aprovechamiento de la energía. El desarrollo muestra las características principales de los distintos sistemas de propulsión existentes, lo cual permitirá al lector obtener un conocimiento especializado sobre las variaciones que pueden tener los vehículos y en un determinado momento constituirse en información relevante para optar por un tipo específico de vehículo acorde a las necesidades pudiendo ser del tipo ICV, BEV, HEV, PHEV o FCEV.

Palabras Clave: Propulsión, engranajes, eficiencia, híbrido, energía.

Abstract

The growth of environmental awareness worldwide has influenced the different aspects of the human being, one of them being mobility; Thus, hoping that the vehicles used are as efficient as possible in the use of energy, therefore, the present work focuses on one of the main components of the vehicles, such as the propulsion train, which varies depending on the type of vehicle, and the characteristics required by each of the technologies implemented for the use of energy. The development shows the main characteristics of the different existing propulsion systems, which will allow the reader to obtain specialized knowledge about the variations that vehicles can have and at a certain moment become relevant information to choose a specific type of vehicle according to the needs can be of the ICV, BEV, HEV, PHEV or FCEV type.

Keywords: Propulsion, gears, efficiency, hybrid, energy.

1. Introducción

A nivel mundial, el sector transporte es considerado como uno de los mayores consumidores de energía, sin ser la excepción el Ecuador, que según [1] en el año 2020, el 45,4% de la energía total consumida en el país se debe a este rubro, que a su vez, constituyeron 37.744 kBEP (Miles de barriles equivalentes de petróleo), concentrada en combustibles como son las gasolinas y el diesel, que tras la combustión en los motores de los vehículos se aprovecha un 30% de la energía convertida en movimiento en el mejor de los casos y el resto de la energía no aprovechada, se disipa en forma de calor y en forma de gases combustos que son expulsados al ambiente.

La producción de gases nocivos para el medio ambiente y para la salud de las personas se ha convertido en un tema central de discusión de muchos gobiernos, y de la industria automotriz que con la finalidad de mejorar el aprovechamiento de la energía y reducir la contaminación que los vehículos producen, se ha ido creando varios tipos de vehículos con diferentes elementos que buscan ser más amigables con el medio ambiente, teniendo así:

- BEV → Vehículo eléctrico de baterías
- HEV → Vehículo híbrido eléctrico.
- PHEV → Vehículo híbrido eléctrico enchufable.
- FCEV → Vehículo eléctrico de celdas de energía.
- ICV → Vehículo de combustión interna.

El desarrollo del presente trabajo se centrará en la revisión de los diferentes tipos de trenes de propulsión o tren motriz de los vehículos, con la finalidad de conocer sus elementos constitutivos, la forma de operación y las diferentes características de estos incluida la eficiencia de cada uno.

2. Desarrollo

A. Vehículo eléctrico de baterías BEV (Battery Electric Vehicle)

Vehículo propulsado por uno o varios motores eléctricos que transforman la energía química almacenada en bloques de baterías a energía mecánica que se puede distribuir a las ruedas por un sistema de transmisión o engranajes para el movimiento del vehículo. Consta de tres subsistemas para su adecuado funcionamiento, primero el almacenamiento de

energía consta de fuente de energía, unidad de gestión de energía y unidad de carga [2], segundo la propulsión que se compone de motor eléctrico, el convertidor electrónico de potencia, el controlador, la transmisión y las ruedas, y el de auxiliares se compone de controlador de temperatura, de dirección asistida y una fuente de energía auxiliar, en la fig. 1 se puede observar el flujo de interacción de los subsistemas, y si se considera flujo inverso de energía ayuda al frenado regenerativo para recuperarla [3].

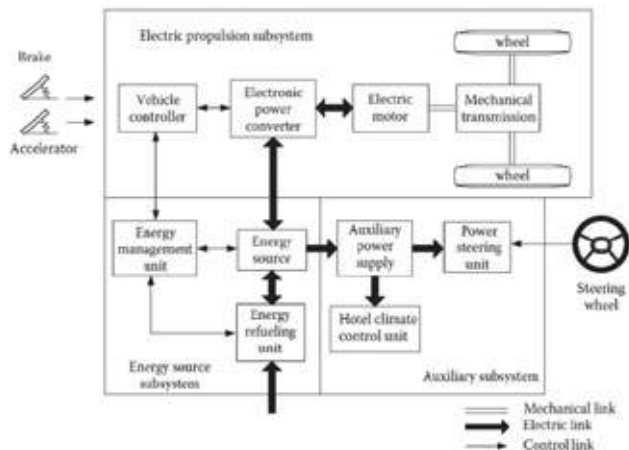


Figura 1. Subsistemas de un BEV [4]

Para los vehículos eléctricos de batería su autonomía se ve afectada por la manera de conducir, las condiciones climáticas y geográficas, su longevidad y el tipo de batería, el principal problema es el almacenamiento ya que el tiempo de carga de las baterías continúa siendo considerable nada comparable a completar combustible a un tanque.

B. Vehículos híbridos eléctricos HEV (Hybrid Electric Vehicles)

Se considera como un vehículo híbrido eléctrico aquel que funciona a partir de dos o más fuentes de energía diferentes, sin embargo, en la gran mayoría de vehículos se disponen de únicamente dos fuentes de energía, siendo por un lado la proveniente de combustibles fósiles y transformada por un motor de combustión interna y por otro lado energía eléctrica almacenada y transformada por medio de un motor eléctrico. Entre los objetivos principales de un vehículo eléctrico se encuentra el ser más eficiente con respecto al consumo de combustible fósil y menos contaminante que un vehículo que únicamente tiene un motor de combustión interna.

Con la finalidad de mejorar la eficiencia del vehículo híbrido [7] se debe procurar tener un buen

diseño y operación de sus diferentes componentes y uno de los más importantes constituye el tren de propulsión híbrida-eléctrica que según [4] debe tener características destacadas en:

- Potencia suficiente para mover el vehículo.
- Energía suficiente acorde a distancias determinadas de desplazamiento.
- Alta eficiencia.
- Baja emisión de gases contaminantes.

Se considera existen 4 tipos principales de trenes de propulsión asociados a estos vehículos acorde a la literatura mostrada por [4] - [6].

1) *Tren de propulsión híbrido serie*: El tren de propulsión tipo híbrido serie se podría considerar como el más simple de todos, el cual consiste en la conexión directa del motor de combustión interna a un generador eléctrico, el mismo que provee energía para cargar las baterías y para alimentar al motor eléctrico, que, a su vez, es el que realiza el movimiento de las ruedas a través de una transmisión mecánica; como se puede apreciar en el fig. 2.

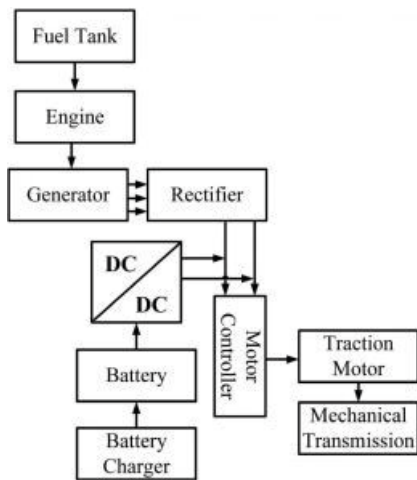


Figura 2. Propulsión serie del HEV

2) *Tren de propulsión híbrido paralelo*: Esta configuración acopla el motor eléctrico y el motor de combustión a transmisión para transmitir el movimiento a las ruedas, por medio del funcionamiento de cualquiera de ellos o los dos al mismo tiempo, dependiendo del requerimiento de vehículo. La fig. 2. muestra gráficamente lo descrito en el presente párrafo.

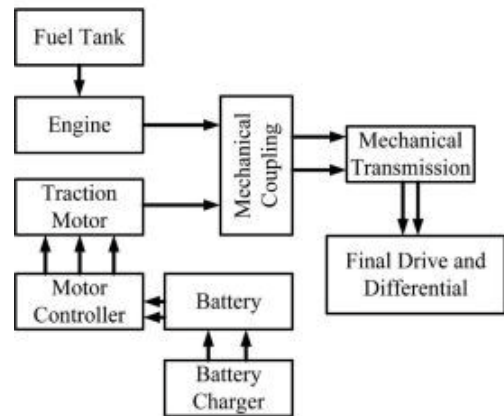


Figura 3. Propulsión paralela del HEV

3) *Tren de propulsión híbrido serie-paralelo*: Este sistema surge a partir de la unión de los sistemas serie y paralelo como su nombre lo indica y se logra tras incluir un enlace mecánico adicional que combina las fuentes de movimiento mecánica por medio de un conjunto de engranajes planetarios en un primer sistema como se aprecia en la fig.4, el cual fue simplificado mediante un motor de estator flotante llamado transmotor o transeje, cuyo diagrama se puede apreciar en la fig. 5.

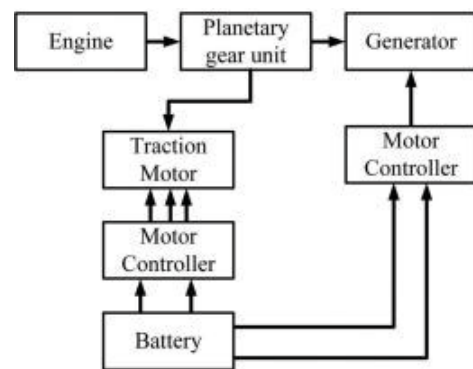


Figura 4. Sistema con engranajes planetarios

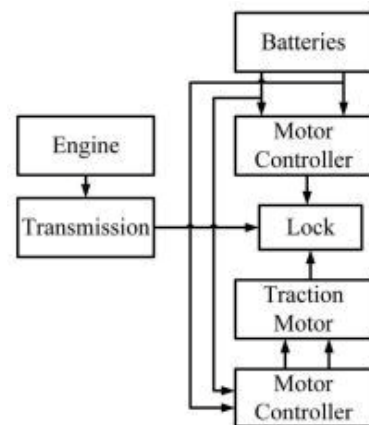


Figura 5. Sistema con transmotor o transeje

4) *Tren de propulsión híbrido complejo:* Se considera como un sistema con grandes diferencias con respecto al tren de propulsión híbrido serie-paralelo, debido a que permite el flujo de potencia mecánica de forma bidireccional.

Debido a la complejidad del acoplamiento mecánico se podría usar una transmisión continua variable o CVT (Constantly variable transmission), la cual, puede ser controlada a través de mecanismos hidráulicos, mecánicos, hidro-mecánicos o electromecánicos. Este sistema también se lo conoce como e-CVT, cuyo diagrama se muestra en la fig. 6. La fig. 7. muestra la estructura del sistema complejo usado en un vehículo 4x4.

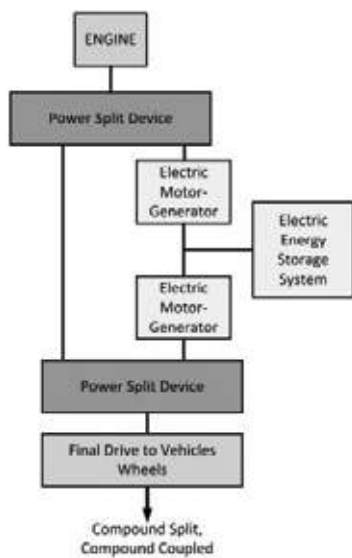


Figura 6. Sistema híbrido complejo

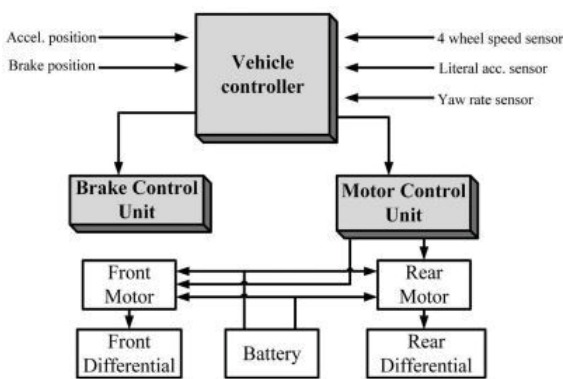


Figura 7. Sistema híbrido complejo 4x4

C. Vehículo híbrido eléctrico enchufable PHEV (Plug-in Hybrid Vehicle)

El vehículo híbrido eléctrico enchufable por sus siglas en inglés (Plug-in Hybrid eléctrico Vehicle) es la combinación de un motor de combustión interna

(MCI) alimentado por combustibles fósiles y un motor eléctrico que lleva como fuente de alimentación una batería de alto voltaje. Los encargados de dar la propulsión al vehículo son el motor de combustión interna y/o el motor eléctrico de acuerdo con el modo en el que se encuentre el vehículo. Se alimentan de dos fuentes exteriores de energías, provenientes de los combustibles derivados del petróleo como la gasolina y el diésel que permiten mover el motor térmico y, de la electricidad que es proporcionada por la red que permite recargar la batería. Es básicamente un vehículo híbrido con una la capacidad de enchufarlo a la red eléctrica, lo que elimina la dependencia del motor de combustión interna para la carga de las baterías como ocurre en los vehículos híbridos convencionales. [7]

Desde el punto de vista del cuidado del medio ambiente y sostenibilidad, se añade la gran ventaja del vehículo híbrido enchufable de que se puede cargar con electricidad proveniente de fuentes renovables como son fuentes eólicas o solares, facilitando la inserción de estas fuentes en el sector transporte y ayudando de esta manera a incrementar la eficiencia energética y en consecuencia a disminuir las emisiones que contaminan el medio. Además, que su carga habitual será a horas de descanso del usuario, es decir por lo general en las noches, hora en que la electricidad en la mayoría de los países disminuye su costo [8].

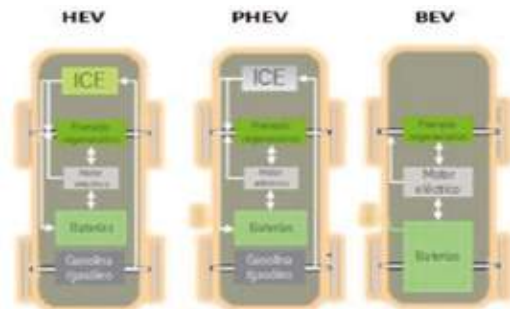


Figura 8. Diferencias entre los tipos de vehículos eléctricos [9]

Los vehículos híbridos enchufable cuentan con la gran ventaja que, al tener los dos motores como propulsores de estos, se equilibra la dependencia de combustibles fósiles y de electricidad, aumentando su autonomía. En la Fig. 8 se puede observar cómo aumentando la parte eléctrica también aumentamos el porcentaje de hibridación, y mientras aumenta la tasa de hibridación el golpe al medio ambiente disminuye, y a su vez la complejidad de los sistemas como son los conosces, acoplamientos, repartición de energía, entre otros caen aumento hasta eliminar por completo la presencia de un motor térmico [9].

D. Vehículo eléctrico de celdas de energía FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)

1) *Pila de combustible:* Para comprender de mejor manera este tipo de propulsión eléctrica es necesario conceptualizar lo que es una pila de combustible, por lo que podemos decir que la misma es la encargada de transformar mediante un proceso electroquímico la energía que produce un combustible como puede ser la gasolina o en ciertos casos hidrogeno en una energía eléctrica. [13] Existen aproximadamente 6 tipos de pila de combustible, sin embargo, la más utilizada es la de membrana de intercambio protónico (PEMFC) en donde el combustible utilizado es el hidrogeno como se puede observar en la Fig. 20 en donde se puede apreciar que para que esta pila funcione es necesario que se suministre a la misma hidrogeno (H₂) y oxigeno (O₂), y se obtiene como salida una fuente de energía eléctrica y agua (H₂O), esta última es también es utilizada para mantener la membrana humectada [14].

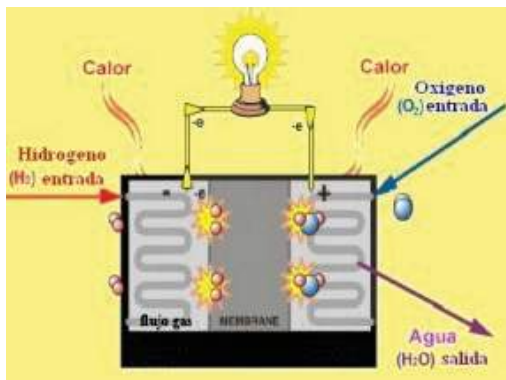


Figura 9. Esquema de la pila de membrana de intercambio protónico.

Las pilas PEMFC son ideales para ser utilizadas en vehículos de transporte eléctrico y marcas como BMW, Ford, Honda las han utilizado para la construcción de los mismos, ya que trabajan a temperaturas que oscilan entre los 60-120°C los cual son relativamente bajas en comparación con otro tipo de pilas, además de que su rendimiento energético puede llegar a alcanzar hasta un 50%, otra de las ventajas de este tipo de pilas es que no solo pueden ser utilizadas con hidrogeno como combustible principal, sino que también pueden ser alimentadas con metanol, aunque con este componente la eficiencia se ve mermada [15].

Además, es necesario tomar en cuenta que las pilas de hidrógeno son muy superiores a otros generadores de energía ya que pueden llegar a producir hasta 33kwh por kg consumido, a diferencia del gas natural

o el petróleo que únicamente generan 13.9kwh y 12.4kwh respectivamente, además del hecho de que reduce drásticamente las emisiones de CO₂ ya que como se analizó anteriormente el único compuesto que va a producir a la salida sería agua [16].

2) *Tren de propulsión:* Tal y como se puede apreciar en la Fig. 10. la pila de combustible genera un pequeño voltaje el cual es aprovechado por medio de dos convertidores DC/DC. El primer convertidor es utilizado para suministrar el voltaje necesario a los sistemas auxiliares del vehículo mientras que el segundo convertidor transfiere el voltaje de corriente continua a la entrada del inversor AC/DC [17]. El inversor es el encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna, esta corriente es la que posteriormente será utilizada por el motor eléctrico.

Adicionalmente el sistema cuenta con una batería externa la cual de igual manera es cargada con la ayuda de los dos convertidores DC/DC y además la misma también se recarga cuando los motores eléctricos se transforman en generadores y producen corriente alterna, la cual es transformada a corriente continua con ayuda del inversor.

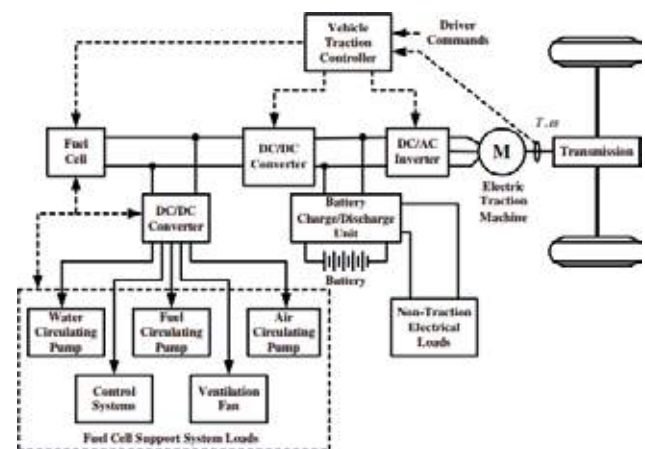


Figura 10. Tren de potencia de un vehículo eléctrico con pila de combustible.

Existe otro tipo de conexión para el tren de potencia utilizado en vehículos eléctricos, el cual se muestra en la Fig. 11, este esquema posee una conexión más simple con respecto a la anterior ya que el mismo no posee ningún tipo de convertidor DC/DC, sino que por el contrario la corriente generada tanto por la pila de hidrógeno como por la batería ingresa directamente al inversor, cabe recalcar que en esta configuración los dos generadores de corriente se encuentran conectados en paralelo [18].

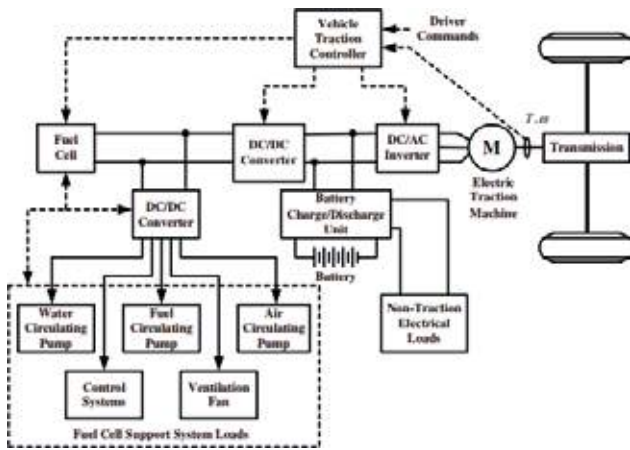


Figura 11. Tren de potencia simple de un vehículo eléctrico con pila de combustible.

E. Vehículo de combustión interna ICV (Internal Combustion Vehicle)

1) *Tipos de motores de combustión interna:* Los motores de combustión interna utilizados en vehículos de pasajeros son generalmente de cuatro tiempos y existen principalmente de dos tipos: los de encendido provocado y los de encendido por compresión.

- Motores de encendido provocado

A este tipo también se le conoce como motor Otto o de encendido por chispa, y toman este nombre debido a la forma en la que se produce la combustión dentro del cilindro, ya que en el interior del mismo ingresa una mezcla de aire-combustible, dicha mezcla en el proceso de compresión incrementa su presión y temperatura a volumen constante, tal y como se indica en la Fig. 12 y por medio de un salto de chispa provocado por un componente denominado como bujía esta mezcla se combustiona, iniciando así su proceso de trabajo [19].

- Motores de encendido por compresión

A este tipo más popularmente se le conoce como motores Diésel, y es que el tipo de combustible que utiliza es una de las principales diferencias con respecto a la de encendido provocado, además de que aquí al cilindro únicamente ingresa aire el cual se calienta a presión constante en el ciclo de compresión como se puede ver en la Fig. 13, es por este motivo que este tipo de motores ya no poseen bujía ya que la explosión en el cilindro se produce únicamente al inyectar cierta cantidad de Diésel pulverizado dentro de la cámara de combustión donde ya se encuentra el aire a una alta presión y temperatura [19].

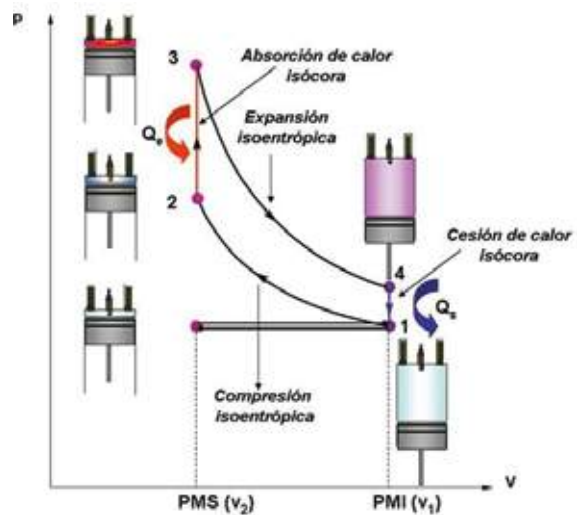


Figura 12. Diagrama de un motor de encendido provocado.

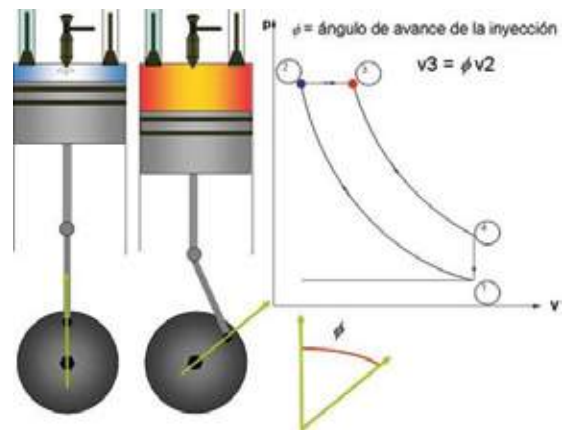


Figura 13. Diagrama de un motor de encendido por compresión.

2) *Tren de propulsión de los vehículos convencionales:* El tren de propulsión de un motor de combustión interna posee 7 componentes principales los cuales como se puede observar en la Fig. 14 son: motor, embrague, transmisión, eje de transmisión, diferencial, camisas de ejes y ejes [20].

- Motor

Es el encargado de transformar la energía química de la mezcla de aire-combustible en energía mecánica la cual se expresa a través de la potencia y el torque.

- Embrague

Es el elemento que se encuentra entre el motor y la transmisión, consta de dos componentes que son el disco y el plato de embrague los cuales cuando se unen entre ellos para permitir trasladar hacia el sistema de transmisión la potencia y el torque generado por el motor de combustión interna.

- Transmisión

Es la encargada mediante las diferentes relaciones de engranajes que podemos encontrar dentro de una transmisión, regular e incluso invertir las revoluciones por minuto generada por el motor de combustión de esta manera podemos obtener ya sea mayor torque o mayor velocidad del vehículo según las necesidades encontradas. [21]

- Eje de transmisión

Es el que se encarga de trasladar la potencia de salida desde la transmisión hacia el diferencial, se puede decir que este elemento es de conexión y está constituido por más elementos como son las denominadas juntas cardan.

- Diferencial

Es un elemento mecánico muy importante ya que el mismo permite que en una curva las ruedas giren a distintas velocidades en una curva según el vehículo lo necesite. Esto lo debe realizar debido a que en una curva la rueda más alejada a la curva debe realizar un mayor recorrido en comparación a la que se encuentra más cercana a la curva, para realizar esta acción de una manera adecuada el diferencial cuenta con una serie de componentes como son: cono, corona, satélites y planetarios [22].

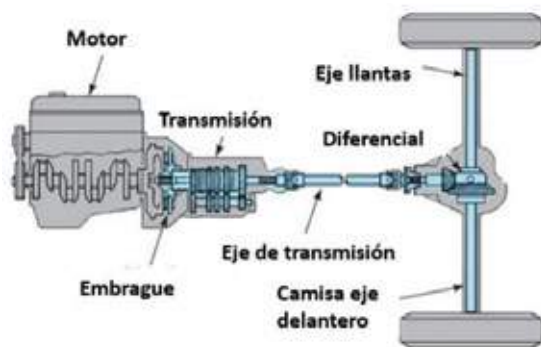


Figura 14. Componentes del tren de potencia de un vehículo convencional.

3. Conclusiones

El tren de propulsión de un vehículo constituye un pilar fundamental dentro de la búsqueda de alcanzar altas eficiencias de funcionamiento, no siendo la excepción el caso de los vehículos eléctricos.

Las investigaciones realizadas por algunas marcas han permitido el desarrollo de diferentes trenes de propulsión con mejores características operativas, conduciendo a que el vehículo tenga una menor huella de carbono.

La literatura muestra que debido al peso adicional que tiene los vehículos híbridos se incrementa su huella de carbono, ya que sigue utilizando un motor de combustión interna como fuente de energía.

Se evidencio que actualmente el tipo de propulsión más sencillo constituye el sistema más eficiente, siendo este, el utilizado por los vehículos eléctricos a baterías y que poseen el motor, el inversor y la transmisión.

Los vehículos que generan energía a través de las celdas de hidrógeno se podría considerar poseen alta eficiencia de funcionamiento, y podrían llegar a complementar en un futuro a los vehículos de baterías BEV, en el caso de poder reducir los costos de los convertidores de energía, pudiendo así, extender los rangos de autonomía.

Los vehículos con pila de combustible por membrana de intercambio protónico son ideales para el uso en vehículos de transporte ya que trabajan a relativamente bajas temperaturas y generan una alta eficiencia energética que puede llegar a ser hasta del 50%.

4. Referencias

- [1] I. de Investigación Geológico y Energético IIGE, "Balance energético nacional 2020," Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Informe 2020, agosto 2021.
- [2] J. M. L. Martínez, Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor. Dextra Editorial, 2015. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/uta/titulos/131530>
- [3] C. Chan, "The state of the art of electric and hybrid vehicles," Proceedings of the IEEE, vol. 90, no. 2, pp. 247–275, 2002.
- [4] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, and K. M. Ebrahimi, Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. CRC press, 2018.
- [5] M. Sato, G. Yamamoto, D. Gunji, T. Imura, and H. Fujimoto, "Development of wireless in-wheel motor using magnetic resonance coupling," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no. 7, pp. 5270–5278, 2016.

- [6] L. A. Kumar and S. A. Alexander, *Power Converters for Electric Vehicles*. CRC Press, 2020.
- [7] J. P. Navarro, “Análisis técnico-económico del vehículo eléctrico y las estaciones de recarga,” TERUEL, 2012.
- [8] E. D. L. E. E. EL and T. R. MOTORIZADO, “2.2 modelo de negocio de fabricantes del automóvil,” JORGE RODRÍGUEZ LLUVA TRABAJO DE FIN DE GRADO GRADO DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES, p. 8, 2019.
- [9] A. Falcón Concepción et al., “Análisis comparativo de coste-eficiencia entre vehículos convencionales y de energías alternativas en sistemas aislados: el caso de canarias.” 2018.
- [10] S. D. Roa Melo et al., “Diseño del tren motriz de un vehículo híbrido todoterreno,” B.S. thesis, Uniandes, 2011.
- [11] M. Garmendia, “Vehículo comercial híbrido serie-paralelo,” 2007.
- [12] M. Rodríguez, J. Bohórquez, and A. E. Díaz, “Estudios sobre el desempeño de vehículos eléctricos dependiendo de la arquitectura de su sistema de tracción,” PhD. dissertation, Thesis, Univ. Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2015 [en línea . . . , 2015.
- [13] E. G. Campana, “Gestión energética para flotas de vehículos eléctricos e híbridos con pila de combustible,” PhD. dissertation, Universidad Politécnica de Madrid, 2019.
- [14] W. E. Agila, E. Villanueva, L. González, M. A. Rubio, D. Guinea, and E. Cotillas, “Instrumentación y control de una pila de combustible de membrana de intercambio protónico (pemfc) de 500w,” 2003.
- [15] J. C. Ruiz-Morales, J. P. Martínez, D. M. López, D. P. Coll, P. F. N. Coello, B. B. Pérez, J. C. Vázquez, and P. Gómez-Romero, “Pilas de combustible,” in *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, no. 3. Real Sociedad Española de Química, 2006, pp. 22–30.
- [16] P. Asensio, “Hidrógeno y pila de combustible,” Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid [en línea]. Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-paratodos-hidrogeno-y-pila-de-combustible.pdf> [última consulta: 22 diciembre 2014], 2007.
- [17] S. Emadi, A y Williamson, “Vehículos de pila de combustible: oportunidades y desafíos,” in *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2004., 2004, pp. 1640–1645.
- [18] H. Das, C. Tan, and A. Yatim, “Fuel cell hybrid electric vehicles: A review on power conditioning units and topologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 268–291, 2017, cited by 184. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85015384772&doi=10.1016%2fj.rser.2017.03.056&partnerID=0&md5=7abd9218d19c48dc951b97c78b1e2da8>
- [19] R. D. A. A. Jose´ and M. D. Marta, *Motores de combustión interna*. Editorial UNED, 2015.
- [20] D. C. Suescun Vera et al., “Diseño de una arquitectura de tren de potencia para convertir un vehículo con motor de combustión interna en un vehículo eléctrico,” B.S. thesis, Uniandes, 2017.
- [21] L. ANCHATIPAN and E. DAVID, “Implementación del tren de potencia y sistema de transmisión para un vehículo biplaza tipo buggy para la carrera de tecnología superior en mecánica automotriz de la unidad de gestión de tecnologías espe.”
- [22] E. A´GUEDA CASADO, T. GOMEZ MORALES, and J. MARTÍN NAVARRO, *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. Editorial Paraninfo, 2012.

5. Biografía



¹Brian Daniel Vélez Salazar, Ingeniero Automotriz Maestrante en Sistemas de Propulsión Eléctrica en la Universidad Técnica de Ambato. Docente en la carrera de Tecnología superior en Mecánica Automotriz del Instituto Superior Universitario Central Técnico.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	26 abril 2021
Fecha aceptación	13 junio 2021