



*Balance energético para un vehículo híbrido basado en pila de combustible y ventajas en la seguridad de usuarios*

*Energy balance for a hybrid vehicle based on fuel cell and advantages in user safety*

*Balanço energético para um veículo híbrido baseado em célula de combustível e vantagens na segurança do usuário*

Víctor Miguel Toalombo-Vargas <sup>I</sup>  
[victor.toalombo@epoch.edu.ec](mailto:victor.toalombo@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9479-6307>

José Hernán Negrete Costales <sup>II</sup>  
[josenegrete@gmail.com](mailto:josenegrete@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2678-761X>

Danielita Fernanda Borja Mayorga <sup>III</sup>  
[danielitaborja@gmail.com](mailto:danielitaborja@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-8438-064X>

**Correspondencia:** [victor.toalombo@epoch.edu.ec](mailto:victor.toalombo@epoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de marzo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2022 \* **Publicado:** 8 de julio de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.



## Resumen

Actualmente la tecnología automotriz crece a pasos gigantes brindando mayores beneficios y seguridad a los usuarios, esto se ha hecho posible gracias a la electrónica, la cual cada vez tiene mayor grado de influencia en los sistemas mecánicos del automóvil logrando mayor eficiencia y versatilidad.

Mediante este proyecto permite conocer la evaluación de los vehículos híbridos de modo de establecer un proceso de investigación para el estudio del sistema híbrido de un vehículo.

Un transporte híbrido es un vehículo, en el cual la energía eléctrica que lo impulsa proviene de baterías y alternativamente de un motor de combustión interna que mueve un generador. Normalmente, un motor de combustión interna también puede impulsar las ruedas en forma directa. En este tipo de vehículos se dispone un sistema electrónico para determinar que motor usar y cuando hacerlo.

El funcionamiento del sistema híbrido se basa en principios básicos de una transmisión automática; el caso híbrido no se limita sólo a utilizarla para sincronizar cambios si no ya es parte de la conexión de fuerzas propulsoras del vehículo, esto se lo realiza mediante un sistema de engranajes planetario el cual permite manejar altos torques y establecer una fácil conexión.

Los vehículos híbridos se pueden clasificar por el modo en que están dispuestos sus componentes en el tren de potencia, y también por la capacidad del motor eléctrico de propulsar de manera independiente al vehículo; los vehículos híbridos presentan más ventajas, además de ecológicas, entre estas esta la reducción de peso y volumen de trenes de potencia sin reducir el trabajo útil que estos pueden hacer, eso le da versatilidad al diseño del vehículo. Los vehículos con tracción delantera o trasera podrían recibir AWD eléctrico sin grandes modificaciones de la plataforma.

**Palabras Clave:** Eficiencia; versatilidad; batería; batería recargable; caja automática; celdas de batería; transmisión.

## Abstract

Currently, automotive technology is growing by leaps and bounds, providing greater benefits and safety to users. This has been made possible thanks to electronics, which has a greater degree of influence on the mechanical systems of the automobile, achieving greater efficiency and versatility.

Through this project it allows to know the evaluation of hybrid vehicles in order to establish a research process for the study of the hybrid system of a vehicle.

A hybrid transport is a vehicle, in which the electrical energy that drives it comes from batteries and alternatively from an internal combustion engine that moves a generator. Typically, an internal combustion engine can also drive the wheels directly. In this type of vehicle, an electronic system is available to determine which engine to use and when to do it.

The operation of the hybrid system is based on basic principles of an automatic transmission; the hybrid case is not limited only to use it to synchronize changes if it is not already part of the connection of the vehicle's propulsive forces, this is done through a planetary gear system which allows handling high torques and establishing an easy connection.

Hybrid vehicles can be classified by the way their components are arranged in the power train, and also by the ability of the electric motor to independently propel the vehicle; hybrid vehicles have more advantages, in addition to being ecological, among these is the reduction in weight and volume of power trains without reducing the useful work they can do, which gives versatility to the vehicle's design. Front or rear-wheel drive vehicles could receive electric AWD without major platform modifications.

**Keywords:** Efficiency; versatility; drums; rechargeable battery; automatic box; battery cells; transmission.

## Resumo

Atualmente, a tecnologia automotiva cresce a passos largos, proporcionando maiores benefícios e segurança aos usuários, o que é possível graças à eletrônica, que tem maior influência nos sistemas mecânicos do automóvel, alcançando maior eficiência e versatilidade.

Através deste projeto permite conhecer a avaliação de veículos híbridos a fim de estabelecer um processo de pesquisa para o estudo do sistema híbrido de um veículo.

Um transporte híbrido é um veículo em que a energia elétrica que o aciona vem de baterias e alternativamente de um motor de combustão interna que movimenta um gerador. Normalmente, um motor de combustão interna também pode acionar as rodas diretamente. Nesse tipo de veículo, um sistema eletrônico está disponível para determinar qual motor usar e quando fazê-lo.

O funcionamento do sistema híbrido é baseado nos princípios básicos de uma transmissão automática; a caixa híbrida não se limita apenas a utilizá-la para sincronizar as mudanças caso ela

ainda não faça parte da conexão das forças propulsoras do veículo, isso é feito através de um sistema de engrenagem planetária que permite lidar com altos torques e estabelecer uma conexão fácil.

Os veículos híbridos podem ser classificados pela forma como seus componentes estão dispostos no trem de força e também pela capacidade do motor elétrico de impulsionar o veículo de forma independente; os veículos híbridos têm mais vantagens, além de serem ecológicos, dentre elas está a redução de peso e volume dos trens de força sem diminuir o trabalho útil que podem realizar, o que confere versatilidade ao design do veículo. Veículos com tração dianteira ou traseira podem receber tração integral elétrica sem grandes modificações na plataforma.

**Palavras-chave:** Eficiência; versatilidade; bateria; bateria recarregável; caixa automática; células de bateria; transmissão.

## Introducción

En los últimos tiempos hemos presenciado y escuchado dialogar de la evolución tecnológica que el sector automotriz está palpitando, con frases como “autos de energía híbrida” o “automatización de sistemas en la seguridad del auto”. No obstante, en la exhausta pesquisa de energías alternativas a los originados del petróleo, y para desarrollarlos se han creado los vehículos denominados fuel cell (expresión inglesa para “celda de combustible”, que se ha extendido a lo largo del mundo), lo cual en años antiguos era considerado como algo futurista y difícil de conseguir. (1)

Se designa coche eléctrico híbrido el cual se propulsa de energía eléctrica mediante baterías y, disyuntivamente, de un motor de combustión interna que mueve un generador. Usualmente, el motor también puede impulsar las ruedas en forma directa.

Usualmente, el motor también puede impulsar las ruedas en forma directa. En el diseño de un automóvil híbrido, el motor térmico es la fuente de energía que se usa como última alternativa, y se dispone un sistema electrónico para disponer qué motor utilizar y cuándo ejecutarlo.

En el caso de híbridos gasolina-eléctricos, cuando el motor de combustión interna funciona, lo hace con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería.

En algunos es posible recuperar la energía cinética al frenar, convirtiéndola en energía eléctrica. La combinación de un motor de combustión operando siempre a su máxima eficiencia, y la

recuperación de energía del frenado (útil especialmente en la ciudad), hace que estos vehículos alcancen mejores rendimientos que los vehículos convencionales.

Todos los coches eléctricos utilizan baterías cargadas por una fuente externa, lo que les ocasiona problemas de autonomía de funcionamiento sin recargarlas. Esta queja habitual se evita con los coches híbridos.(2)

### *1.1 Configuración de un Vehículo Híbrido de Pila de Combustible*

La puesta en marcha del VHPC facilita un empleo más eficiente de la alta densidad de energía de la pila y de la alta densidad de potencia de la batería. Cuando el requerimiento de potencia es elevado, como el caso de la aceleración, las baterías suministran la potencia ideal y necesaria para realizar dicha acción.

Cuando la demanda de potencia es baja, como en condiciones de velocidad crucero, la pila proporciona la potencia. Las baterías se recargarán durante los periodos de baja potencia.

Así pues, dependiendo de los requerimientos de potencia y de energía, la pila se podría diseñar bajo el punto de vista de velocidad crucero, y la batería para proporcionar potencias pico. (3)

## **Resultados y discusión**

### *2.1 Ventajas y desventajas de autos híbridos. (Mecánicamente)*

El sistema de tracción híbrido-eléctrico promete un gran cambio en relación con los automóviles de la actualidad. El sistema de tracción de un automóvil habitual consiste en un motor de combustión interna mecánicamente acoplado al tren motriz mediante un embrague, una caja de cambios y un diferencial con sus juntas homocinéticas. La efectividad de este sistema de tracción se ve desfavorecida, además de por su peso, ya que el motor debe proporcionar una potencia reformable.

La máxima eficiencia de un motor se logra bajo ciertos requisitos de funcionamiento, con una carga y una velocidad de giro fijas. Si una o cualquiera de las dos varía, este rendimiento baja susceptiblemente. En un trayecto cualquiera normal las circunstancias de velocidad y carga del vehículo deben variar obligatoriamente por uno o más factores tanto mecánicos como ambientales, es necesario sobredimensionar ampliamente el motor, para que sea capaz de responder a estos cambios sin que disminuyan drásticamente las prestaciones.

La eficiencia del sistema de tracción convencional puede mejorarse notablemente incorporando un sistema híbrido – eléctrico, muy parecido al que incorporan los vehículos eléctricos, impulsados

por baterías que mueven sus motores eléctricos, pero con la diferencia de que este sistema incorpora un pequeño A.P.U. (del inglés Auxiliary Power Unit) que es un motor de combustión interna u otro dispositivo auxiliar cuya función es generar la electricidad para alimentar estas baterías de forma eficiente. Con esta configuración se obtienen grandes ventajas sobre el vehículo eléctrico, como son:

#### *2.1.1. Ventajas*

- Son capaces de conseguir una eficiencia doble, lo que se consigue por la supresión de la mayor parte de las pérdidas de potencia que se producen en los vehículos tradicionales.
- El sistema de frenado tiene a su vez capacidad regenerativa de la potencia absorbida, lo que reduce las pérdidas de eficiencia.
- Los sistemas híbridos permiten recoger y utilizar nuevamente la energía cinética en el frenado. Esto hace que los vehículos tengan un alto nivel de rendimiento a comparación de los autos convencionales, en especial en carreteras con mayor tránsito, como sucede en nuestro país.

#### *2.1.2. Desventajas*

- Mayor peso que un coche convencional (hay que sumar el motor eléctrico y, sobre todo, las baterías), y por ello un incremento en la energía necesaria para desplazarlo.
- Más complejidad, lo que dificulta las revisiones y reparaciones del mismo. (4)

#### *2.2 Ventajas y desventajas de autos híbridos. (Ambientalmente)*

El nivel de contaminación medioambiental es cada vez más fuerte en nuestro país y entre las causas más influyentes se encuentran las malas condiciones y antigüedad del parque automotor, que no se renueva con la misma velocidad con la que ingresan modelos nuevos. Ante esta situación, los vehículos híbridos se presentan como una opción; estos combinan un motor eléctrico con uno de combustión para reducir los gases contaminantes gracias a su bajo consumo.

#### *2.2.1 Ventajas*

- El motor se dimensiona solo para una potencia promedio, ya los picos de potencia los proporciona la fuente de energía alternativa.
- La eficiencia del combustible se incrementa notablemente, lo que se traduce en reducción de las emisiones.
- Producen menos ruido que un motor de gasolina, sin necesidad de perder potencia.



- La pareja hidrógeno-pila de combustible es una gran aliada de la naturaleza. La oxidación del hidrógeno –sea en un motor de explosión, sea a través de una pila no genera emisiones de SO<sub>2</sub>, hidrocarburos no quemados y, sobre todo, CO<sub>2</sub>.
- Por el tubo de escape de un coche a pila sólo sale vapor de agua. (5)

### 2.2.2 Desventajas

- La producción de baterías y motores eléctricos requiere el uso de una gran cantidad de materiales tóxicos como níquel, aluminio y cobre, de ahí que el impacto por acidificación es mucho mayor.
- Es contraproducente promocionar la producción de este tipo de vehículos en regiones donde la electricidad es producida principalmente a partir de lignito, carbón o incluso combustión con aceite. (6)

El inevitable agotamiento de las reservas de petróleo y las dificultades para obtener en las próximas décadas energía abundante y limpia obligan a buscar combustibles alternativos, lo que nos llevaría a una solución a largo plazo en problemas energéticos. (7)

La pila de combustible, es un dispositivo de conversión energética y renovable, permite convertir energía química a eléctrica en un solo paso, a diferencia de un proceso térmico convencional en el cual tenemos una serie de pasos que van desde energía química, térmica, luego mecánica y por último a electrónica, es decir, no necesita de la combustión. Su objetivo principal es disminuir drásticamente emisiones de gases contaminantes y reducir el impacto ambiental generando energía de modo limpio y eficiente.

Podríamos decir que esta es el futuro de la generación de energía eléctrica tanto para vehículos como para equipamientos. (7)

Esta produce una serie de ventajas como:

- Eficiencia energética. - es decir, su rendimiento no está limitado por el ciclo de Carnot. (7)
- Reducción del nivel de contaminación medioambiental. - ya que no existe emisiones de gases contaminantes, por lo que si impacto en el medio ambiente es mínimo. (7)
- Carácter modular. - la accesibilidad de las mismas como módulos independientes genera una ventaja adicional, ya que un cambio de escala en la potencia que necesitamos la podemos conseguir fácilmente mediante la interconexión de módulos. (7)
- Facilidad en su operación. -una pila puede operar a alto rendimiento y sin interrupciones en un amplio rango de potencias suministradas. Además, se puede realizar variaciones



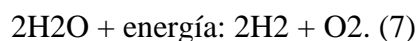
rápidas de potencia. Por el contrario, los sistemas convencionales son muy inflexibles, debiéndose mantener la carga de combustible siempre por encima del 80% para garantizar una correcta operación. (7)

- Accesibilidad para diferentes tipos de combustible. -cualquier tipo de combustible es apto para ser modificado, siempre y cuando este tenga presente el hidrogeno en su composición. Han sido usados con éxito combustibles tan dispares como el gas natural, el gasóleo, el carbón gasificado o el metanol. Es más eficiente energéticamente que los motores de combustión interna. (7)
- Silencio en su funcionamiento. -se estima que su nivel de ruido a treinta metros es de cincuenta y cinco decibelios, lo que sugiere su uso en recintos urbanos. (7)
- Menor impacto estético. - debido a la inexistencia de tubos de emisión de gases ni torres de refrigeración, su impacto visual es mínimo. (7)
- Confiabilidad. - podemos automatizar el funcionamiento de una pila de combustible, reduciendo al mínimo su intervención manual que vamos a requerir. (7)
- Rápida instalación. - la infraestructura es innecesaria. (7)

Así como tenemos ventajas, podemos encontrar ciertas desventajas como:

- Tecnología emergente. - ciertos problemas aún no resueltos no nos permiten tener un buen funcionamiento de las pilas de combustible, especialmente en su vida útil, lo que no permite una libre comercialización. (7)
- Elevados costos. - al ser una tecnología en desarrollo y al haber todavía una baja demanda de unidades, su precio no puede competir con el de las tecnologías convencionales. (7)
- Sensibilidad hacia los venenos catalíticos. - los electrodos empleados incorporan catalizadores para ayudar al desarrollo de las reacciones electroquímicas. Al contacto de estas sustancias con los llamados venenos catalíticos, tales como el monóxido de azufre o los compuestos de azufre, se provoca su inactivación irreversible. (7)

Se trata en realidad de un proceso químico sencillo, inverso al electrólisis del agua. En ella, mediante la aportación de energía, el agua se descompone en oxígeno e hidrógeno:



En la pila de combustible el proceso es el inverso. Si se aportan oxígeno e hidrógeno, en la pila de combustible se consigue que reaccionen y formen agua, liberando energía eléctrica, que se puede utilizar para, por ejemplo, hacer girar un motor:

$2\text{H}_2 + \text{O}_2: 2\text{H}_2\text{O} + \text{energía}$  (8)

Las pilas de combustible convierten la energía química de una reacción en energía eléctrica. Su construcción modular, ausencia de ruidos y vibraciones, flexibilidad de operación, baja contaminación y una eficiencia alta de transformación hace que estos equipos sean llamativos para el futuro del sector energético. Uno de los trabajos más difíciles es la obtención de un material de sellado que permita la estanqueidad de las SOFCs a la temperatura de trabajo. Dados los requerimientos que debe cumplir el sello, el material más adecuado para esta aplicación es un vidrio o vitrocerámico. Este trabajo consiste en una revisión bibliográfica sobre los distintos sistemas vítreos y vitrocerámicos utilizados en la soldadura de SOFC (Solid oxide fuel cell u Optimización de cátodos de pilas de combustible), sus propiedades, las ventajas e inconvenientes de su uso como material sellante, así como una breve descripción de la tecnología de las pilas de combustible de óxido sólido (SOFC). Finalmente, se propone como línea de trabajo la preparación y caracterización de materiales vitrocerámicos dentro del sistema  $\text{SiO}_2\text{-BaO-RO-Al}_2\text{O}_3$  como posibles candidatos para el sellado de SOFC. (9)

El pronosticado cenit del petróleo, las regulaciones ambientales y el precio del crudo han incentivado la búsqueda de nuevos dispositivos para producir energía de forma eficiente y poco contaminante. Sin lugar a dudas, las pilas de combustible son dispositivos que cumplen estas características, pues son más eficientes que la mayoría de máquinas de combustión y generan menos emisiones. Gracias a estas ventajas, el mercado de las pilas de combustible se ha venido ampliando. En este artículo se revisa el mercado potencial de las pilas de combustible y los retos a los cuales se enfrentan sus desarrolladores para poder posicionarlos en el mercado. (10)

Celdas de combustible.

La mayor parte de las pilas de combustible son en realidad un conjunto de pilas individuales a las que se les denomina celdas de combustibles.

La estructura básica de una celda en base a la que se construye una pila de combustible, consiste en una capa de electrolito en contacto con un ánodo y un cátodo a ambos lados. El combustible es suministrado por la parte del ánodo y el oxígeno se suministra por la parte del cátodo. Las reacciones electroquímicas tienen lugar en los electrodos, produciéndose una corriente eléctrica de carga positiva a través del electrolito y su flujo de electrones a través del circuito externo que se conecte en los extremos de la pila (11)

Los componentes de la celda tienen otras funciones además de las comentadas. Así, el electrolito conduce la carga iónica entre los electrodos, con lo cual, cierra el circuito eléctrico. Además, actúa como barrera física para evitar la mezcla directa del combustible y el oxígeno. Respecto a los electrodos, otras funciones son: conducir electrones para ser enviados o recogidos desde el circuito externo, asegurar que los gases reactivos se repartan uniformemente por toda la zona activa y también que los gases de los productos sean expulsados correctamente. (12).

En resumen, estas constan de dos electrodos, ánodo y cátodo, que contienen un porcentaje de platino; estos se encuentran separados por un electrolito el cual es una membrana ya sea esta sólida o líquida. En la parte del ánodo es donde se produce la reacción del hidrógeno donde se separa en 2 electrones y 2 protones. Los protones fluyen a través del electrolito hacia el cátodo en cambio los electrones como no pueden atravesar esta membrana estos circulan a través de un circuito eléctrico conectando así los dos electrodos. Este flujo de electrones es la corriente eléctrica lo que alimentara en este caso al motor del vehículo, así pues, el único residuo que se genera es agua pura. Dependiendo de la tecnología utilizada, el combustible puede tratarse de hidrógeno puro, gas natural o metanol (13)

#### *Estado energético actual*

El consumo mundial de energía en 2009, según la fuente que la produce, fue 33,1% petróleo, 27,2% carbón, 20,9% gas, 9,7% biomasa, 5,8% nuclear, 2,3% hidroeléctrica y 1% otros. (14)

Las emisiones más relevantes de gases con efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub>O) se iniciaron a comienzos del siglo XX, asociadas a la quema de masas forestales y de matorral para ampliar las zonas cultivables. Sin embargo, las emisiones masivas de estos gases asociadas al uso generalizado de combustibles fósiles han producido un aumento de hasta un 25% de los niveles de algunos de estos gases. Modelos numéricos han demostrado que la evolución de la temperatura media global no puede deberse únicamente a fuentes naturales, siendo la combinación de fuentes naturales y antropogénicas la que más se aproxima a las temperaturas reales. (15)

La utilización de petróleo a vasta escala ha urbanizado el mundo, como nunca había sucedido en la historia humana, hasta el punto que hoy por primera vez habita en las ciudades un poco más del 50 por ciento de la población mundial, una tendencia que se incrementará en los años por venir, marcando la desruralización del planeta. En las ciudades se reproduce a escala planetaria la diferenciación social, entre una minoría opulenta que reproduce el American Way of Life y una mayoría que vive en la más espantosa pobreza, sin tener acceso a los servicios públicos

fundamentales, apiñados en tugurios y sin contar con lo básico para vivir en forma digna, constituyendo las ciudades de la miseria. (16)

Según Duncan, la época del petróleo puede considerarse como una fiesta de corta duración que va a durar sólo un siglo y al cabo de la cual terminará el derroche energético emprendido por el capitalismo, a lo que se llegará en escasas dos décadas, cuando se retorne a otra era, en la cual ya no habrá petróleo, que puede catalogarse como el regreso a Olduvai. Este nombre es significativo, si se recuerda que así se ha denominado a una de las grutas, localizada en Tanzania (África), en las que se encontraron algunos de los restos humanos más antiguos, y cuya sociedad no conocía la luz artificial. (17)

Lo verdaderamente crítico radica en que “el pico del petróleo será un punto de inflexión histórico, cuyo impacto mundial sobrepasará todo cuanto se ha visto hasta ahora, y eso pasará en la vida de la mayoría de las personas que viven hoy en el planeta” (18). De igual forma, la crisis alimenticia está vinculada con las modificaciones climáticas en marcha puesto que estas últimas inciden en forma directa en la disminución de las cosechas, sobre todo en las zonas más pobres del mundo. Así, por los cambios en la temperatura y en el volumen de precipitaciones se calcula que en los próximos años caerán los rendimientos de los principales productos alimenticios en diversos lugares del mundo: la caña de azúcar en un 3 por ciento en los Andes; el arroz en un 10 por ciento en Asia Meridional; el maíz en un 47 por ciento en el sur de África; el trigo en un 3 por ciento en Asia oriental. (19)

#### *Uso de biogás en pilas de combustible. -*

Dentro de todas las energías renovables, el empleo del biogás está siendo uno de los más desarrollados, puesto que es el producto de una tecnología de transformación de la biomasa secundaria que permite reducir drásticamente la carga orgánica de los residuos. Presenta un gran potencial dado que la biomasa representa dos tercios de las energías renovables en Europa. (20,21) El biogás es un tipo de energía de biomasa, que se obtiene producto de la digestión anaeróbica o fermentación de la materia orgánica (residuos animales y vegetales) y que puede presentar diferentes usos energéticos, como calefacción, alumbrado o electricidad. Esta mezcla gaseosa, combustible, está compuesta por metano (55-70%), anhídrido carbónico (30-45%), más otros elementos traza tales como, oxígeno (200 ppm - 1%), nitrógeno (menor a 5%), vapor de agua y sulfuro de hidrógeno (50 ppm - 3%). La concentración de los distintos gases en el biogás dependerá

de la composición de las materias primas, las condiciones de descomposición, tiempo de retención hidráulica en el biodigestor, entre otros. (22)

Otra ventaja de la revalorización del biogás es que, en el proceso de fermentación anaeróbica, también se genera un digestato rico en nutrientes (N, P, K, Ca, etc.) y materia orgánica, con un menor índice de olores y cuyo destino fundamental es el uso agrícola como abono órgano mineral de los cultivos. (23)

Se resume y analiza algunas tecnologías que se han implementado para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica. Se sabe que el biogás puede contener algunas impurezas y elementos traza que deben ser removidas antes de su uso en la matriz energética. Las tecnologías tradicionales para la purificación de biogás están basadas fundamentalmente en el empleo de métodos físicos y químicos, los cuales, además de generar contaminantes secundarios, a menudo tienen un alto costo. Como una alternativa, la purificación de biogás mediante procesos biológicos utilizando microorganismos parece atractiva. Los microorganismos pueden remover las sustancias consideradas contaminantes, especialmente para la eliminación de sulfuro de hidrógeno. Ser concluye que se trata de un método económico, con bajos gastos energéticos e inocuo para el medio ambiente y la salud humana. (24)

Clasificación de pilas de combustible (25,26,27)

Los mencionados a continuación son aquellas pilas de baja temperatura los cuales no dañan el electrolito empleado en ellos y necesitan de una fuente de hidrogeno externa estas constan con un arranque rápido; estas se utilizan en aplicaciones portátiles y de automoción. Dentro de este conjunto se encuentran las pilas tipo: Pilas de Membrana Polimérica (PEM), Pilas Alcalinas (AFC), Pilas de Ácido Fosfórico (PAFC) y Pilas de Metanol Directo (DMFC).

Otro tipo de estas baterías como las Pilas de Carbonato Fundido (MCFC) y las Pilas de Óxido Sólido (SOFC) trabajan con temperaturas mayores a 600°C las cuales no necesitan de una fuente de combustible externo y además que se pueden emplear otros combustibles además del hidrogeno puro. Sin embargo, este tipo no es recomendable pues el material de su electrolito debe ser muy especial para que no se degrade rápidamente por su reacción electroquímica exotérmica, además no es este tipo de pilas combustibles recomendado para un arranque rápido sino más bien para plantas de potencia estacionarias. (pg.: 47)

Pila de tipo PEM.

Este tipo de pila es alimentado por hidrógeno dado por una combinación de agua e hidróxido de

litio. Así se facilitaba la entrega de combustible en actividades que se desarrollaban en zonas alejadas pues es compacto y transportable, sin embargo, el electrolito de platino era una desventaja de esta pila. La temperatura con la que opera es baja ( $60 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), dando así un arranque más rápido que en las pilas de alta temperatura. Tienen alta densidad de potencia y pueden variar con relativa velocidad su punto de funcionamiento. La potencia máxima suministrada por este tipo de pilas varía entre unos pocos vatios hasta varias decenas de kilovatios.

Ventajas:

- Gracias a que el separador de ánodo y cátodo es una película de polímero sólido y que la celda trabaja a temperaturas relativamente bajas, las manipulaciones y montajes son más sencillas.
- Ya que emplea un electrolito no corrosivo desaparece la necesidad de manipular su ácido.
- Son tolerantes al  $\text{CO}_2$ , por lo que pueden emplear el propio aire atmosférico.
- Presentan alta tensión, corriente y densidad de potencia.
- Pueden trabajar a baja presión (1 o 2 bares), lo que añade seguridad.

Desventajas:

- Son muy sensibles a las impurezas del hidrógeno.
- No toleran más de 50 ppm de  $\text{CO}$ .
- Presentan una baja tolerancia a partículas de azufre.
- Emplean catalizador de platino y una membrana de polímero sólido muy costosos. (pg.: 48)

Pila de tipo AFC.

En este tipo de pilas su electrolito está formado por una mezcla de alcalina fundida de hidróxido de potasio ( $\text{KOH}$ ) que puede ser móvil o no; los electrodos de gas-difusión aumentaban el área de reacción entre electrodo, electrolito y el combustible. Se usa el hidrógeno comprimido para resguardar los poros de los electrodos del electrolito.

A diferencia del tipo PEM, el electrolito conduce iones de hidróxido desde el cátodo hacia el ánodo.

La temperatura de operación oscila entre  $65\text{ }^{\circ}$  y  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; su presión es de una atmósfera. Cada celda de la pila puede entregar entre 1,1 v y 1,2 V.

Ventajas:

- Trabajan a baja temperatura.
- Tienen un rápido arranque.



- Alta eficiencia.
- Emplean muy poca cantidad de catalizador lo que disminuye costes.
- No tiene problemas de corrosión.
- Tienen una operación sencilla.
- Poseen bajo peso y volumen.

Desventajas:

- Son extremadamente sensibles al CO<sub>2</sub> (máximo 350 ppm) y muestran cierta intolerancia al CO.
- Emplean un electrolito líquido, lo que supone problemas de manipulación.
- Requieren un tratamiento de evacuación del agua.
- Tienen un tiempo de vida relativamente corto. (pg.: 49- 50)

### **Pila de tipo PAFC**

Estas pilas han sufrido un progreso más lento que las demás debido a la baja conductividad de su ácido; su electrolito formado por ácido fosfórico dentro de la matriz de carburo de silicio, en algunas ocasiones está formado de ácido sulfúrico, el que conduce iones de hidrógeno del ánodo al cátodo. Esta pila funciona con aire y no con oxígeno y emplea un electrolito que es 35% ácido y 65% de polvo de silicio.

Las pilas tipo PAFC tienen una gran extensión comercial pues tiene una gran eficiencia en la producción de electricidad y todavía una mayor en la cogeneración. Trabajan a una temperatura entre 150° y 200° C y a presiones de una atmósfera además que las celdas pueden dar alrededor de 1.1 V.

Ventajas:

- Tolerancia de CO<sub>2</sub> por ello pueden emplearse al aire directamente.
- El calor residual sirve para realizar cogeneración.
- Emplean un electrolito estable que resiste temperaturas mayores a los 200°

Desventajas:

- Tienen una tolerancia muy baja al CO.
- Tiene un electrolito líquido corrosivo que da problemas de manipulación en temperaturas medias.
- Permite la entrada de agua que puede diluir el electrolito ácido.



- Son grandes y pesadas.
- Deben tener una temperatura específica durante todo el funcionamiento.

#### *Pila de tipo DMFC*

Este tipo de pilas vienen reemplazando a las baterías comunes en algunas aplicaciones y se estima que su comercialización aumente pues estas poseen un mayor tiempo de vida útil y pueden ser recargadas fácilmente. Emplean un electrolito de membrana polimérica y presentan una eficiencia del 40% y trabajan alrededor de los 130° C.

#### Ventajas:

- Usan combustible líquido por lo que el depósito es más pequeño.
- No necesita proceso de reformado

#### Desventajas:

- Se requiere una gran cantidad de metal noble para la electro-oxidación en el ánodo.

#### *1. Hidrógeno -.*

La demanda energética mundial se cubierte por más de un 87% por combustibles fósiles y esta dependencia ha traído graves problemas ambientales por lo que se requiere buscar una alternativa de energía limpia y renovable.

Las pilas de combustible de hidrogeno parecen ser la respuesta más favorable ya que este elemento puede ser generado a través de otras fuentes primarias renovables lo que disminuiría el impacto ambiental ya que el único residuo generado es agua y sobre todo este lograría alimentar la dependencia energética de la sociedad.

Sin embargo, la implementación del hidrogeno como fuente de energía tiene barreras por lo que su implementación no sería inmediata pues necesita de una gran tecnología, economía y social para su producción. (28)

Uno de sus mayores impedimentos es el hecho de su almacenamiento, pues debido a la baja densidad de potencia energética se necesitarían enormes volúmenes de hidrogeno para poder generar energía suficiente para alimentar procesos de alta demanda de energía. Aunque la solución posible a este problema se ha estado desarrollando el cual sería el comprimir el combustible que sería el hidrogeno para así no necesitar de enormes depósitos de este.

Otro problema es que, aunque el hidrogeno es un gas muy estable debido a su configuración electrónica sencilla este también es un problema a la seguridad pues es altamente inflamable y

explosivo en contacto con el oxígeno atmosférico. (29).

Producción de hidrógeno. (30)

En la actualidad, aproximadamente el 96% de la producción mundial de hidrógeno se obtiene a partir de materias primas fósiles. Todos estos métodos pasan por la obtención de gas de síntesis mediante alguno de los siguientes procesos, cuyas reacciones principales se describen a continuación:

- Reformado con vapor de gas natural o naftas ligeras:
- $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$
- $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$
- Oxidación de fracciones petrolíferas pesadas y (gasificación) carbón
- $\text{C}_n \text{H}_m + [(2n+m) / 4] \text{O}_2 \rightarrow n\text{CO} + (m/2) \text{H}_2\text{O}$
- $\text{C}_n \text{H}_m + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{CO} + [(2n+m) / 2] \text{H}_2$
- $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
- $\text{C} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$
- $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
- $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$
- $\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$
- $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Como se puede ver, el gas de síntesis consiste en mezclas de hidrógeno, monóxido de carbono (productos principales), dióxido de carbono, vapor de agua añadido en exceso y otros productos formados en reacciones secundarias. La proporción entre los distintos componentes depende tanto de las materias primas empleadas como del proceso de obtención. Es necesario eliminar los componentes restantes hasta conseguir el hidrógeno de suficiente pureza para las posteriores aplicaciones, que pueden ser tan exigentes como algunas células de combustible que requieren valores muy altos.

Comparación entre las pilas de combustible, los motores de combustión interna, las baterías y los ultracondensadores.

## Pilas de combustible y baterías

Tanto las pilas de combustible como las baterías están construidas mediante celdas galvánicas por lo que tienen muchas similitudes (31), (32). La estructura básica de ambas consiste en una celda formada por un ánodo y un cátodo que rodean un electrolito. La generación de energía eléctrica se realiza, en los dos casos, mediante la conversión de energía química en energía eléctrica a través de una reacción electroquímica. Dicha reacción sucede en el ánodo y en el cátodo forzando la transferencia de electrones a través de una carga externa en base a completar la reacción (cerrar eléctricamente el circuito). Cada mono celda de una pila de combustible y de una batería genera una tensión muy pequeña, por lo que es necesario combinarlas en serie para alcanzar valores considerables de tensión y potencia.

La curva de polarización de una pila de combustible y de una batería son bastante parecidas. Ambas presentan un comportamiento excelente a cargas parciales, ya que la tensión entre sus extremos disminuye a medida que aumenta la carga. Por tanto, ambas son electroquímicamente igual de eficientes.

Por contra, las pilas de combustible difieren de las baterías en la naturaleza del ánodo y del cátodo. En una batería, ambos electrodos son metales (normalmente zinc o litio en el ánodo y óxidos metálicos en el cátodo). En una pila de combustible, el ánodo y el cátodo se forman a partir de poner en contacto un gas con un catalizador de platino para propiciar la reacción que genera la energía eléctrica. El gas que se suele emplear en el ánodo es el hidrógeno, mientras que para el cátodo es el oxígeno.

Otro de los aspectos en los que se diferencian las pilas de combustible de las baterías es el método fundamental por el que se almacenan los reactivos químicos. En una batería, el ánodo y el cátodo forman una parte integral de la estructura de la batería y son consumidos durante el uso de la propia batería. Por tanto, una batería sólo puede estar funcionando hasta que estos materiales son completamente consumidos. Después de esto, la batería debe ser recargada (necesitando una fuente de potencia eléctrica para la recarga) o reemplazada, dependiendo de la naturaleza de los materiales. En una pila de combustible, los reactivos químicos se suministran desde una fuente externa, por lo que la pila de combustible puede estar trabajando de forma continua todo el tiempo, mientras se estén suministrando reactivos y los productos de la reacción se vayan expulsando.

Cuando se emplean ambas fuentes en aplicaciones de automoción, los sistemas de baterías necesitan de un inversor y un motor eléctrico, mientras que las pilas requieren de un sistema de compresión del aire y un complejo equipamiento de refrigeración y reformado de combustible. Las

baterías como sistema de almacenamiento de potencia son más pesadas que las pilas de combustible.

En definitiva, si bien en muchas aplicaciones las pilas de combustible están sustituyendo ya a las baterías, hasta ahora suelen ser complementarias, ya que las pilas tienen un tiempo de respuesta inferior a las baterías y, además, el BOP de las pilas de combustible necesita inicialmente, hasta que lo puede hacer la propia pila, estar alimentado por baterías.

### **Pilas de combustible y motores de combustión interna**

Una de las similitudes que comparten las pilas de combustible con los motores de combustión interna es que ambos emplean un combustible gaseoso extraído de una fuente de almacenamiento externa (33), (34). Ambos usan combustible rico en hidrógeno. Las pilas emplean hidrógeno puro o una mezcla de gas reformado. En general, los motores de combustión interna emplean directamente combustibles fósiles que contienen hidrógeno, aunque pueden ser configurados para trabajar con hidrógeno puro.

Ambos sistemas emplean aire comprimido como oxidante. En una pila de combustible, el aire se comprime mediante un compresor externo. En un motor de combustión, el aire se comprime internamente mediante la acción de un pistón. Ambos sistemas necesitan también unidades de refrigeración.

En cambio, existen otros aspectos en los que ambos sistemas se diferencian. En una pila de combustible, el combustible y el oxidante reaccionan electroquímicamente mientras que, en un motor de combustión, como su propio nombre indica, la reacción es por combustión. Además, en una pila de combustible existen dispositivos de estado sólido que generan energía eléctrica, mientras que en un motor de combustión existen dispositivos mecánicos que generan energía mecánica.

Desde el punto de vista de las emisiones nocivas, los niveles de contaminación generados dependen de la composición del combustible y de la temperatura de reacción. Los motores que funcionan con pilas de combustible trabajan con hidrógeno puro y no producen emisiones nocivas, tan sólo aquellos que funcionan con reformado rico en hidrógeno llegan a producir cierta cantidad de contaminación dependiendo de la naturaleza del proceso de reformado. De la misma forma, los motores de combustión interna que trabajan con hidrógeno puro, pueden ser diseñados para no

generar emisiones nocivas, mientras que los que funcionan con combustibles convencionales producen importantes niveles de contaminación.

Las pilas de combustible son más eficientes a baja y media carga mientras que los motores de combustión interna trabajan más eficientemente a plena carga.

Respecto al peso del sistema completo, los sistemas de pilas de combustible (incluyendo el almacenamiento de combustible) son más pesados que los sistemas con motor de combustión para valores de potencia similares.

Atendiendo al combustible, el origen del mismo es un aspecto importante a la hora de valorar la eficiencia global del sistema y poder efectuar comparativas. Para alimentar al motor de combustión interna, es necesario un proceso de refinado a partir del petróleo. Una pila de combustible implica producir hidrógeno a partir de combustibles fósiles, mediante la electrolisis del agua o mediante la producción de combustibles secundarios tales como el metanol utilizando un reformador a bordo. En general, la evaluación de costes en este sentido es compleja, ya que el análisis y evaluación de estos factores depende del origen del combustible, la dificultad en la manipulación, tratamiento y transporte del mismo, la energía requerida para comprimir o licuar el combustible final, etc.

### **Pilas de combustible, ultracondensadores y baterías**

Los ultracondensadores son, más que dispositivos alternativos a las pilas de combustible, dispositivos auxiliares o complementarios (35), (36). Es decir, por sus características, los ultracondensadores pueden compensar las limitaciones que presentan las propias pilas. Por ejemplo, los ultracondensadores tienen alta densidad de potencia, es decir, pueden entregar valores altos de potencia en instantes cortos de tiempo. En cambio, en una pila de combustible, debido a los sistemas mecánicos auxiliares que necesita (compresor, equipo de refrigeración, etc.), la respuesta dinámica de una pila es lenta, no pudiendo llegar a suministrar instantáneamente toda la potencia que se le solicite. Por contra, los ultracondensadores poseen baja densidad de energía, es decir, no son capaces de suministrar energía durante periodos largos de funcionamiento; sin embargo, en una pila de combustible, su funcionamiento continuo está asegurado mientras exista suministro de combustible.

Los ultracondensadores alcanzan valores altos de corriente en la carga y en la descarga, por lo que son muy recomendables en aplicaciones de automoción para aceleraciones bruscas o cuando se pretende aprovechar la energía liberada durante la frenada (frenada regenerativa). En una pila de

combustible no es posible almacenar energía de forma inversa. La única posibilidad de almacenar energía en una pila de combustible es a través del hidrógeno, empleándolo como vector energético. Comparando ultracondensadores con baterías, los primeros tienen una gran capacidad de almacenamiento de energía, por lo que, en términos de volumen y peso, es más eficiente emplear ultracondensadores que baterías. Además, tienen un ciclo de vida mayor que el de las baterías. No obstante, los ultracondensadores no soportan suministros continuos a cargas, con lo cual, salvo en aplicaciones muy específicas, las baterías y los ultracondensadores son complementarios.

## **Autos híbridos**

### **Introducción a los autos híbridos**

Se denomina Vehículo o Automóvil eléctrico híbrido a un vehículo en el cual la energía eléctrica que lo impulsa proviene de baterías y, alternativamente, de un motor de combustión interna que mueve un generador.

Normalmente, el motor también puede impulsar las ruedas en forma directa. En el diseño de un automóvil híbrido, el motor térmico es la fuente de energía que se utiliza como última opción, y se dispone un sistema electrónico para determinar qué motor usar y cuándo hacerlo. En el caso de híbridos gasolina-eléctricos, cuando el motor de combustión interna funciona, lo hace con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga la batería del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería. En algunos es posible recuperar la energía cinética al frenar, convirtiéndola en energía eléctrica. La combinación de un motor de combustión operando siempre a su máxima eficiencia, y la recuperación de energía del frenado (útil especialmente en la ciudad), hace que estos vehículos alcancen mejores rendimientos que los vehículos convencionales. Todos los coches eléctricos utilizan baterías cargadas por una fuente externa, lo que les ocasiona problemas de autonomía de funcionamiento sin recargarlas. Esta queja habitual se evita con los coches híbridos. (37)

### **Componentes del sistema híbrido**



Este tipo de vehículos tiene varios componentes comunes independientemente de la arquitectura (híbrido en serie, paralelo o combinado). Si fuese un vehículo 100% eléctrico no tendría motor térmico, y el resto es igual.

Motor térmico. - Suele ser gasolina (ciclo Otto, Atkinson o Miller) o Diésel. También podría funcionar con gas o biocombustibles. Tienen poca cilindrada respecto a un modelo equivalente de motor convencional y prima el par máximo sobre la potencia.

Motor eléctrico. - Puede haber más de uno y siempre va conectado a la transmisión o empuja directamente a las ruedas, como es el caso de los motores in-Wheel o dentro de la rueda. Su sonoridad es prácticamente nula y dan casi todo el par en un régimen muy bajo de revoluciones.

Generador, -No es una pieza sino una función. Recupera energía en las frenadas, retenciones y aceleraciones en las que el motor térmico entregue potencia de más. Lo normal es que el mismo motor eléctrico desempeñe esta función siempre que no esté empujando.

Baterías. - Suelen ser de plomo-ácido (Pb), níquel-metal híbrido (NiMh), níquel-cadmio (NiCd) o ion litio, en orden de eficiencia. Se almacenan normalmente en la parte trasera y añaden mucho peso al coche. Necesitan un sistema de refrigeración, pero no mantenimiento por parte del usuario. Van aparte de la batería de 12V de siempre.

Sistema de gestión. - Independientemente de que hablemos de un modelo manual (muy raro) o de uno automático, para que un híbrido sea más eficiente debe estar gestionado por un ordenador con múltiples sensores, que decida qué combinación es más eficiente en cada momento. (38)

Frenado regenerativo. - El frenado regenerativo recaptura la energía que normalmente se pierde durante el frenado o durante el movimiento en punto muerto. Utiliza el movimiento hacia adelante de los neumáticos para mover el motor. Esto genera electricidad y ayuda a detener el vehículo.

Asistente del motor eléctrico. - El motor eléctrico provee fuerza adicional para auxiliar al acelerar, para rebasar a otro auto, o en una pendiente. Esto permite que se utilice un motor más pequeño más eficientemente. En algunos vehículos, el motor por sí solo proporciona la energía cuando se maneja en condiciones de baja velocidad, y que es cuando generalmente el motor de combustión interna es menos eficiente.

Encendido/apagado automático. - Apaga el motor cuando el vehículo se detiene y lo enciende cuando se pisa el acelerador. Esto previene que se desperdicie energía cuando el auto se deja encendido, pero sin mover. (39)



## **Cómo ahorra un híbrido**

Ahora que sabemos sus componentes, discriminaremos estas situaciones de conducción:

Arranque desde parado. - El motor eléctrico se utiliza para mover el coche con o sin el motor térmico (con poca demanda de aceleración). La transición de parado a movimiento es lo más suave posible, alcanzada cierta velocidad el motor de gasolina mueve el coche también si no lo ha hecho ya. Así evitamos un momento de gran ineficiencia del motor térmico. Los semihíbridos siempre arrancan con los dos motores.

Aceleración. - Como el motor térmico es de potencia más ajustada, el eléctrico se utiliza para ayudarle a empujar durante un tiempo suficiente (no valdría para un 0-punta). Al tener que hacer menos esfuerzo el térmico su consumo es menor y el comportamiento similar a si tuviese más potencia.

Velocidad de cruceo baja. - En zona urbana y en determinadas circunstancias el motor eléctrico puede realizar toda la labor de empuje mientras el nivel de carga de las baterías lo admita. El consumo de combustible pasa a ser cero, no hay emisiones y el sonido del vehículo se limita al ruido de rodadura de los neumáticos.

Velocidad de cruceo media/alta. - Es el motor térmico el que empuja al vehículo, con puntuales asistencias del eléctrico para ligeras pendientes, en caso contrario se almacena en las baterías cualquier excedente de potencia del motor térmico. En este caso, la alta eficiencia del motor térmico rebaja el consumo. Es mucho más fácil en términos de esfuerzo mantener una velocidad que hacer variaciones en ella (aceleración en este caso).

Frenado. - Si la potencia de frenada exigida es baja, en vez de utilizarse los frenos de disco el generador ofrece una gran resistencia al avance y convierte el movimiento del vehículo en electricidad para recargar baterías. Si exigimos más potencia de frenado actúa el sistema convencional además del regenerativo.

Detenciones. - Cuando estamos detenidos no funciona ninguno de los motores a menos que las baterías estén bajas de carga. No hacemos ningún ruido, ni gastamos, ni emitimos ningún gas. Los peatones pensarán que se nos ha calado el coche. El sistema de aire acondicionado tirará de la energía almacenada en las baterías para evitar el ralentí, una gran pérdida de energía.

## **Carga y recarga de las baterías**

Excepto en los modelos recargables mediante red eléctrica (PHEV o REHEV) las baterías se recargan únicamente con el movimiento. El motor térmico trata de trabajar siempre a un régimen máximo de eficiencia, así que el sonido que percibimos es fundamentalmente el mismo, como un ciclomotor, pero más agradable.

Si la potencia suministrada por el motor es excesiva se almacena el excedente en las baterías, pasando el motor eléctrico a ser un generador. Si en cambio la potencia del motor térmico es insuficiente, el motor eléctrico utiliza la energía previamente almacenada para realizar la asistencia. En algunos casos el motor eléctrico ni empuja ni recarga, está inactivo, como en cruceros a velocidad media/alta.

Cuando el motor térmico no está empujando al estar apagado o en retención, no inyecta nada de combustible, de modo que el consumo es nulo, y las emisiones son cero. Eso significa que podríamos respirar el aire que saldría del tubo de escape con total seguridad. El motor eléctrico no produce contaminación de ningún tipo, es más, ni necesita aire.

Por razones de eficiencia, casi todos los híbridos tienen un cambio de variación continua de múltiples velocidades, aunque pueden tener relaciones prefijadas para simular tener marchas, como el Honda Insight Executive o el Lexus GS 450h. Con un cambio manual o automático de otro tipo (DSG, Tiptronic...) no se aprovecharía el potencial del sistema híbrido.

Donde más ahorra un híbrido es en zona urbana, y donde menos en cruceros a alta velocidad por autovía, ya que las baterías no permiten asistencia del eléctrico el tiempo suficiente y el motor térmico puede ir un poco forzado, especialmente si es de poca potencia. Por ejemplo, los Honda Civic Hybrid, Insight o Prius (I o II) recurren a motores térmicos de menos de 95 CV.

Si hablamos de híbridos en serie (sin conexión mecánica del motor térmico a las ruedas) entonces hablamos de una eficiencia máxima. Algunos modelos son capaces de prescindir del motor térmico por completo durante una distancia superior a 32 km e inferior a 100 km, los denominados PHEV y REHEV. Al bajar las baterías de carga reactivan sus motores térmicos.

Dejando al margen los cruceros a velocidades no legales en la mayor parte del Mundo y las tandas en circuito, los híbridos siempre aprovechan mejor el combustible que un modelo convencional, ya que convierten en energía eléctrica lo que de otro modo se perdería en rozamientos, calor o ruido.

Hoy día algunos modelos convencionales tratan de imitar a los híbridos desconectando el alternador en las fases de aceleración (lo que se llama regeneración de energía en las frenadas o

retenciones) o utilizando sistema microhíbrido o Stop&Start para evitar el ralentí en las detenciones. (38)

### **Funcionamiento del motor híbrido**

Este tipo de motores se compone de una serie de engranajes que conectan cada uno de los motores a una cadena que aporta movimiento a las ruedas. El motor eléctrico es quien inicia el movimiento del vehículo haciendo girar el engranaje exterior, ganando velocidad sin consumir una gota de gasolina. En cambio, a partir de una cierta velocidad, el motor de combustión interna se activa haciendo girar los 4 engranajes del divisor de potencia y aumentando la potencia del coche.

El sistema se completa con un engranaje central conectado a un generador que carga las baterías, accionado por el motor de gasolina y que aporta potencia extra al motor eléctrico. Esta es la clave del funcionamiento del motor híbrido, pero veamos los dos tipos de motores que existen. (40)

### **Híbrido en paralelo**

Aunque los coches híbridos más comunes son los llamados híbridos en paralelo, existe otra tipología de híbridos en serie con diferencias notables en función de la contribución del motor de gasolina al movimiento y el ámbito de uso del vehículo. Es decir, en función de si circulamos habitualmente en ciudad o en carretera, el híbrido en paralelo o en serie aporta unas prestaciones u otras.

En el caso de los híbridos en paralelo, tanto el motor eléctrico como el de combustión interna están conectados a las ruedas del vehículo, pudiendo trabajar de forma conjunta o por separado. Esta particularidad los hace especialmente interesantes desde el punto de vista del consumo y las emisiones.

Circulando en ciudad, donde no hace falta mucha potencia, el motor eléctrico permite un ahorro notable de combustible y cero emisiones a la atmósfera, alimentado con la energía almacenada en las baterías instaladas en el coche. Estas baterías pueden recargarse estando parado mediante una toma-corriente o bien en marcha a través del generador acoplado al motor de combustión interna. En este último caso, la fuerza que llega a las ruedas procede tanto del motor eléctrico, alimentado por la electricidad que producen el generador, como del motor de combustión. Una excelente opción para los que necesitan más prestaciones y autonomía en carretera

## Híbridos en serie

En cambio, en los híbridos en serie, el vehículo se mueve con la potencia que suministra el motor eléctrico, utilizando la electricidad suministrada por el generador accionado por el motor de combustión interna. La ventaja de este tipo de vehículos reside en las prestaciones y autonomía que aporta el motor eléctrico en ciudad, a través del generador y de las propias baterías (40)

## Vehículo con motor a hidrógeno

Un vehículo de hidrógeno es un vehículo de combustible alternativo que utiliza hidrógeno como su fuente primaria de energía para propulsarse. Estos vehículos utilizan generalmente el hidrógeno en uno de estos dos métodos: 1. En la combustión, el hidrógeno se quema en un motor de explosión, de la misma forma que la gasolina. 2. En la conversión de pila de combustible, el hidrógeno se convierte en electricidad a través de pilas de combustible que mueven motores eléctricos - de esta manera, la pila de combustible funciona como una especie de batería.

El vehículo con pila de combustible se considera un vehículo de cero emisiones porque el único subproducto del hidrógeno consumido es el agua, que adicionalmente puede también mover una micro-turbina. El vehículo con motor de combustión interna además produce emisiones de dióxido de carbono. Inconvenientes: En términos de energía por unidad de volumen, el hidrógeno líquido necesita mucho más espacio para almacenar la misma cantidad de energía que otros combustibles. Por cada litro de gasolina se necesitarían cuatro litros de hidrógeno líquido para conseguir la misma energía.

El reto para convertir el hidrógeno en combustible está en su almacenaje. Existen 2 opciones:

- El hidrógeno líquido a  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$

Mayor autonomía (400 km), pero debe evacuarse hidrógeno para evitar que el calor ambiental provoque sobrepresiones.

- El presurizado a 700 bares.

Menor autonomía (unos 270 km) pero con mayor seguridad. Además, el presurizado tiene a su favor que es más fácil de conservar en las hidrogeneras o estaciones de servicio para recargar los depósitos de combustible. (37)

**Tabla 1** Comparativo entre autos híbridos, eléctricos y de combustión. ¿Cuál es mejor? (41)

	<b>Auto híbrido</b>	<b>Auto eléctrico</b>	<b>Auto de combustión</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducción de contaminación.</li> <li>-Menor contaminación acústica.</li> <li>-Eficacia en el consumo de combustible fósil</li> <li>-Motor silencioso y tiene una respuesta más rápida que el motor convencional.</li> <li>-Puede funcionar con solo el motor eléctrico en tramos cortos.</li> <li>-La recarga es mucho más rápida con auto eléctrico.</li> <li>-Descuento en el seguro del vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducción significativa de contaminación.</li> <li>-Menor contaminación acústica.</li> <li>-No necesita mantenimientos.</li> <li>-Amortización de la compra a corto plazo.</li> <li>-Descuento en el seguro del vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El precio de los autos convencionales es menor.</li> <li>-Variedad de modelos.</li> <li>-Fácil acceso al combustible.</li> <li>-Fácil adquisición de repuestos en el mercado.</li> <li>-Motor eficiente.</li> <li>-Velocidad medias 180km/h.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El costo es mayor a los autos convencionales.</li> <li>-Dificultad en reparar algún daño.</li> <li>-Dificultad en la adquisición de repuestos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayor costo en comparación a los autos convencionales e híbridos.</li> <li>-Velocidad media de 130km/h.</li> <li>-Dificultad en reparar algún daño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Altas emisiones de contaminación.</li> <li>-Contaminación Acústica.</li> <li>-Necesita varios mantenimientos.</li> <li>-Existen impuestos.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>-En algunos casos las bacterias pueden ser tóxicas.</li><li>-Más pesado que un Auto convencional.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-La vida útil de la batería es de 4 a 6 años.</li><li>-Tiene una autonomía de máximo 150km.</li><li>-Tiempo de recarga es de más de 6h.</li><li>-Dificultad en acceder a redes de carga.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Varios de los modelos no pueden circular a diario.</li><li>-Pago de tenencias y verificaciones.</li></ul>
--	---	--	--

## Conclusiones

- Si nos ponemos a reflexionar sobre el ámbito automotriz podremos concluir que el medio ambiente es la principal preocupación en la actualidad, ya que el constante uso de combustibles fósiles, hidrocarburos y demás derivados del petróleo han puesto en riesgo los ecosistemas del mundo, por tal motivo los autos híbridos llegan como una gran esperanza ya que por el momento es el medio más viable para empezar a reducir las emisiones de gas carbónico a la atmósfera.
- El desarrollo de celdas de combustibles con reformador de gas natural es una alternativa interesante. Por el momento, esta tecnología no parece suficientemente madura, y quizás haya que esperar algunos años para ver su evolución y sus potencialidades.
- Igualmente, los gobiernos de diferentes países deben promocionar y aminorar a las personas, para que utilicen los medios de transporte cotidianos como buses y trenes híbridos para evitar aún más contaminación. (42)
- Las pilas de combustible son una innovación para poder llevar al cabo la idea revolucionaria de los autos híbridos que serán de gran utilidad en un futuro no muy lejano.
- Los países del primer mundo deben dar ejemplo en fabricar y utilizar estos vehículos para una revolución tecnológica y ambiental en favor de nuestro planeta, y países del tercer mundo poder adoptar estos cambios.
- En esta investigación pude averiguar mucho porcentaje de disminución en la contaminación del medio ambiente.

- En los países desarrollados es donde más podemos apreciar vehículos híbridos.
- Las pilas de combustible son una nueva tecnología que viene a impulsarse más en el mercado ya que en la actualidad están en desarrollo.
- Con la tecnología actual en base a los autos que usan pilas de combustible nos podemos dar cuenta de manera muy clara que estamos muy próximos a reducir considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> en el ambiente.
- En esta investigación podemos visualizar el futuro de cómo serán los nuevos medios de transportes, buses, trenes, aviones, etc.
- A los autos híbridos podemos considerar como los autos del futuro.
- Estos tipos de transportes están previstos para un futuro a largo plazo por lo que tal vez no nos sirva a nosotros, pero si a las nuevas generaciones.
- Las pilas de combustible están tomando fuerza en diferentes tipos de mercado debido a que son ecológicas
- Esto favorece de gran manera al medio ambiente, ya que al usar pilas de combustible reduciríamos casi al mínimo la contaminación.
- este tipo de tecnología tiene un alto costo de producción debido a que es una nueva tecnología.
- Es realmente necesario que la población tome conciencia de esto, para así encontrar una alternativa a los vehículos convencionales ya que los vehículos de este tipo generan muy altas cantidades de CO<sub>2</sub>.
- Los automóviles eléctricos e híbridos sustituyen la combustión interna por lo que cuidan y protegen el planeta.

La industria automotriz tiene una tarea muy importante y es tratar de buscar una energía limpia.

## Referencias

1. E. Herrera, F. Hernández, L. Vázquez, S. Ferro y C. Martínez. Los autos y la electroquímica, 2008 [En línea] Disponible en: [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/59\\_4/PDF/04-Autos.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/59_4/PDF/04-Autos.pdf) [Accessed 20 Feb.2019]



2. J. Martínez. Autos Híbridos. Universidad Católica. [En línea] Disponible en: [http://www.jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos\\_Hibridos.pdf](http://www.jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf) [Accessed 20 Feb.2019]
3. J. López Martínez. La pila de combustible, el vehículo y el transporte, 23-24 de octubre 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.coiiaoc.com/download/24.pdf> [ Accessed 20 Feb.2019]
4. J. Martínez. Autos Híbridos. Universidad Católica. [En línea] Disponible en: [http://www.jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos\\_Hibridos.pdf](http://www.jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf) [Accessed 20 Feb.2019]
5. E. Vargas. Vehículos híbridos: Una opción para cuidar el medio ambiente, Perú, 2015. [En línea] Disponible en: <https://peru21.pe/cheka/tecnologia/vehiculos-hibridos-opcion-cuidar-medio-ambiente-163431> [Accessed 20 Feb.2019]
6. . BBC. La amenaza ambiental de los autos eléctricos. [En línea] Disponible en: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121005\\_autos\\_electricos\\_riesgo\\_ambiental\\_ar](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121005_autos_electricos_riesgo_ambiental_ar) [Accessed 20 Feb.2019]
7. Ecorfan.org. (2019). [online] Available at: [http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion\\_Cientifica\\_y\\_Tecnica/vol3num7/Revista\\_de\\_Aplicacion\\_Cientifica\\_y\\_Tecnica\\_V3\\_N7.pdf#page=68](http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol3num7/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V3_N7.pdf#page=68) [Accessed 20 Feb. 2019].
8. Almendron.com. (2019). [online] Available at: <https://www.almendron.com/politica/pdf/2007/8954.pdf> [Accessed 20 Feb. 2019].
9. Lara, C., Pascual, M. and Durán, A. (2019). Sellos vítreos y vitrocerámicos para pilas de combustible de óxido sólido (SOFC). [online] Digital.csic.es. Available at: <https://digital.csic.es/handle/10261/4764> [Accessed 20 Feb. 2019].
10. Rojas, L. (2019). Pilas de combustible y su desarrollo. [online] Dialnet. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3971410> [Accessed 20 Feb. 2019].
11. F. T. Bacon. "Fuel cells, past, present and future". *Electrochimica Acta*, Vol. 14 (7), pp. 569-585, 1969. [Accessed 20 Feb. 2019].

12. Y. Bréelle, P. Degobert. "Application perspectives for dissolved-fuel cells". *Advanced Energy Conversion*, Vol. 5 (4), pp. 279-290, 1965. [Accessed 20 Feb. 2019].
13. Rojas, L. (2019). Pilas de combustible y su desarrollo. [online] pp.12 Dialnet. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3971410> [Accessed 20 Feb. 2019].
14. La Energía en España 2009, I.S.B.N.: 978-84-96275-91-1 [Accessed 20 Feb. 2019].
15. Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CSIC, 2009. [Accessed 20 Feb. 2019].
16. Mike Davis, *Planeta de ciudades de la miseria*, Madrid, Editorial Foca, 2007. [Accessed 20 Feb. 2019].
17. Richard C. Duncan, "La teoría de Olduvai. El declive final es inminente", en [www.crisisenergetica.org/ficheros/TeoriaOlduvaiFeb2007.pdf](http://www.crisisenergetica.org/ficheros/TeoriaOlduvaiFeb2007.pdf) [Accessed 20 Feb. 2019].
18. Richard Duncan citado en Ramón Fernández Durán, *El crepúsculo de la era trágica del petróleo*, copia a máquina, pág. 1. [Accessed 20 Feb. 2019].
19. Joel K. Bourne, "El fin de la abundancia. La crisis alimentaria mundial", en *National Geographic en español*, junio de 2009, págs. 44-45. [Accessed 20 Feb. 2019].
20. Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. Final draft report of the Biofuels Research Advisory Council [http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn\\_rt/nn\\_rt\\_bm/article\\_4012\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_rt/nn_rt_bm/article_4012_en.htm) [Accessed 20 Feb. 2019].
21. How much bionergy can Europe produce without harming the environment. EEA, 2006 [Accessed 20 Feb. 2019].
22. Lara, C., Pascual, M. and Durán, A. (2019). Sellos vítreos y vitrocerámicos para pilas de combustible de óxido sólido (SOFC). [online] [Digital.csic.es](http://digital.csic.es). Available at: <https://digital.csic.es/handle/10261/4764> [Accessed 20 Feb. 2019].

23. EL SECTOR DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA (Documento elaborado por miembros de la mesa de biogás). Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). [Accessed 20 Feb. 2019].
24. Rojas, L. (2019). Pilas de combustible y su desarrollo. [online] Dialnet. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3971410> [Accessed 20 Feb. 2019].
25. Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory. Fuel Cell Handbook Seventh Edition. U.S. Department of Energy, 2004. [Accessed 20 Feb. 2019].
26. X. Yu, M. R. Starke, L. M. Tolbert, B. Ozpineci. "Fuel cell power conditioning for electric power applications: a summary ". IEEE IET Electric Power Applications, Vol. 1 (5), pp. 643-656, 2007 [Accessed 20 Feb. 2019].
27. J. E. Larminie, A. Dick. Fuel Cell Systems Explained. Amazon, 2000 [Accessed 20 Feb. 2019].
28. Asemfo.org. (2019). [online] Available at: <http://www.asefmo.org/empresas/aecientificos/documentos/LAECONOMIADELHIDROGENO.pdf> [Accessed 20 Feb. 2019].
29. DOE (2004) DOE Hydrogen Program; FY 2004 Annual Progress Report. U.S. Department of Energy; Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Program, Washington [Accessed 20 Feb. 2019].
30. S. Dunn. International Journal of Hydrogen Energy, 27 (2002) 235-264 [Accessed 20 Feb. 2019].
31. J. Salminen, D. Steingart, T. Kallio. "Fuel Cells and Batteries". Future Energy, Vol. 1, pp. 259-276, 2008. [Accessed 20 Feb. 2019].
32. D. Ilic, K. Holl, P. Birke, T. Wöhrle, F. Birke-Salam, A. Perner, P. Haug. "Fuel cells and batteries: Competition or separate paths?". Journal of Power Sources, Vol. 155 (1), pp. 7276, 2006. [Accessed 20 Feb. 2019].

33. N. Zamel, X. Li. "Life cycle analysis of vehicles powered by a fuel cell and by internal combustion engine for Canada". *Journal of Power Sources*, Vol. 155 (82), pp. 297-310. [Accessed 20 Feb. 2019].
34. A. Schäfer, J. B. Heywood, M.A. Weiss. "Future fuel cell and internal combustion engine automobile technologies: A 25-year life cycle and fleet impact assessment". *Energy*, Vol. 31 (12), pp. 2064-2087, 2006. [Accessed 20 Feb. 2019].
35. A. Payman, S. Pierfederici, F. Meibody-Tabar. "Energy control of supercapacitor/fuel cell hybrid power source ". *Energy Conversion and Management*, Vol. 49 (6), pp. 1637-1644, 2008. [Accessed 20 Feb. 2019].
36. J. Liang, C. Feng. "Stability Improvement of Micro-grids with Coordinate Control of Fuel Cell and Ultracapacitor". *IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, Vol. 1, pp. 2472 - 2477, 2007. [Accessed 20 Feb. 2019].
37. Martinez, J. (2019). AUTOS HIBRIDOS. [online] *Jeuazarru.com*. Available at: [http://www.jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos\\_Hibridos.pdf](http://www.jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf) [Accessed 20 Feb. 2019].
38. Costas, J. (2019). Cómo funciona un coche híbrido. [online] *Motorpasion.com*. Available at: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/como-funciona-un-coche-hibrido> [Accessed 20 Feb. 2019].
39. Fueleconomy.gov. (2019). ¿Cómo trabajan los híbridos? [online] Available at: <https://fueleconomy.gov/feg/eshybridtech.shtml> [Accessed 20 Feb. 2019].
40. . Perez, M., Perez, M. and Perez, M. (2019). En serie o paralelo, así es el funcionamiento del motor híbrido. [online] *Blogthinkbig.com*. Available at: <https://blogthinkbig.com/funcionamiento-del-motor-hibrido> [Accessed 20 Feb. 2019].
41. Gómez, B., & Gómez, B. (2019). Comparativo entre autos híbridos, eléctricos y de combustión. ¿Cuál es mejor? - *Digital Higgs*. Retrieved from <http://digitalhiggs.com/index.php/esfera-verde/item/446-comparativo-entre-autos-hibridos-electricos-y-de-combustion-cual-es-mejor> [Accessed 20 Feb. 2019]

42. S. Gil y R. Prieto. Los autos eléctricos: ¿hacia un transporte más sustentable? Junio 2013. [En línea] Disponible en: <http://www.petrotecnica.com.ar/junio13/notas/AutorElectricos.pdf> [Accessed 20 Feb.2019]

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).