



Education in Hydrogen Technologies Area



**Co-funded by
the European Union**

Project is supported
within the Erasmus+ programme
2021-1-CZ01-KA220-VET-000028073

CONTENIDO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Contenido..... | 2 |
| Introducción - Razones para utilizar el hidrógeno como combustible de vehículos..... | 4 |
| 1 El hidrógeno como fuente de energía | 6 |
| 1.1 Producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles..... | 7 |
| 1.1.1 Reformado con vapor de gas natural..... | 7 |
| 1.1.2 Oxidación parcial de hidrocarburos | 7 |
| 1.1.3 Gasificación del carbón..... | 8 |
| 1.2 Producción de hidrógeno por electrólisis del agua..... | 8 |
| 1.3 Producción de hidrógeno a partir de biomasa..... | 8 |
| 1.4 Producción de hidrógeno a partir de fuentes de energía alternativas..... | 8 |
| 1.5 Referencias | 9 |
| 1.6 Preguntas de fin de capítulo | 9 |
| 2 Pilas de combustible..... | 10 |
| 2.1 Introducción | 10 |
| 2.2 Evolución histórica..... | 10 |
| 2.3 Principio..... | 11 |
| 2.4 Tipos de pilas de combustible..... | 13 |
| 2.4.1 Pilas de combustible de electrolito alcalino (AFC) | 13 |
| 2.4.2 Pilas de combustible de membrana polimérica (PEMFC)..... | 13 |
| 2.4.3 Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) | 13 |
| 2.4.4 Pilas de combustible de carbonato fundido (MCFC) | 13 |
| 2.4.5 Pilas de combustible de óxido sólido (SOFC) | 14 |
| 2.5 Preguntas de fin de capítulo | 14 |
| 3 Motores eléctricos en vehículos | 14 |
| 3.1 Motores de corriente continua..... | 15 |
| 3.1.1 Motor de CC de excitación independiente..... | 16 |
| 3.1.2 Motor de corriente continua en serie..... | 16 |
| 3.1.3 Motor de corriente continua en paralelo | 17 |
| 3.1.4 Motor de CC compuesto | 18 |
| 3.1.5 Motor de corriente continua sin escobillas..... | 18 |
| 3.1.6 Resumen..... | 19 |
| 3.2 Motores de corriente alterna | 20 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.1 | Motor asíncrono | 21 |
| 3.2.1 | Motor de flujo transversal | 22 |
| 3.2.2 | Motor síncrono | 22 |
| 3.2.3 | Motor de reluctancia controlada | 23 |
| 3.2.4 | Resumen..... | 25 |
| 3.3 | Preguntas de fin de capítulo | 25 |
| 4 | Vehículos impulsados por hidrógeno | 26 |
| 4.1 | El Toyota Mirai japonés es un coche de hidrógeno producido en serie..... | 27 |
| 4.1.1 | Rendimiento de la conducción (datos de Toyota de noviembre de 2014)..... | 27 |
| 4.2 | Otro coche de hidrógeno producido en serie es el Hyundai Nexo..... | 28 |
| 4.3 | Autobús de hidrógeno Solaris Urbino 12 | 29 |
| 4.4 | Autobús de hidrógeno ŠKODA H'CITY 12 | 30 |
| 4.5 | Hyundai HFC BUS..... | 30 |
| 4.6 | Tren de hidrógeno de Deutsche Bahn | 31 |
| 4.7 | Preguntas de fin de capítulo | 31 |

Cofinanciado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados sólo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la Agencia Europea de la Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos."

INTRODUCCIÓN - RAZONES PARA UTILIZAR EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE DE VEHÍCULOS

Razones para utilizar hidrógeno como combustible en los vehículos: reducir el consumo de combustibles fósiles y la producción de emisiones nocivas.

El calor de combustión del hidrógeno fue advertido por científicos naturales y técnicos hace mucho tiempo, pero su uso industrial no empezó hasta principios del siglo XX, principalmente para soldar o como agente hidrogenante y reductor. Los primeros experimentos con el uso del hidrógeno como combustible para motores de cohetes comenzaron a principios de los años 50 y no llegaron a la fase de aplicación hasta mediados de los 60.

La principal ventaja del hidrógeno como combustible es su combustión limpia. Cuando el hidrógeno se utiliza en motores de combustión interna o en pilas de combustible, produce energía térmica, mecánica o eléctrica y un subproducto inocuo: el agua. No produce CO₂ residual ni otros subproductos de la combustión de hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos. El CO₂ es el principal componente de los gases de efecto invernadero, y la economía del hidrógeno tiene como principal objetivo limitar su formación."

Las reservas de hidrógeno en el agua son casi inagotables. El hidrógeno tiene una alta densidad energética por unidad de peso y puede transportarse y almacenarse. Desde el punto de vista medioambiental, usar hidrógeno es más limpio que quemar combustibles fósiles, y el agua producida no va acompañada de compuestos tóxicos ni gases de efecto invernadero.

A escala industrial, el hidrógeno se produce, por una parte, mediante procesos petroquímicos, incluida la gasificación del carbón (que representa el 90% de la producción), y mediante la electrólisis del agua. También es un importante subproducto o componente de los gases generados por las refinerías y la producción electroquímica basada en soluciones acuosas de ácidos o sales inorgánicas.

El hidrógeno es un gas incoloro, insípido e inodoro y es el más ligero de todos los gases.

Fórmula química: H₂

Número CAS: 1333-74-0

Número CE: 215-605-7

Número ONU: 1049

El hidrógeno es el elemento más simple y abundante del universo, con un 75% aproximadamente. Aunque el hidrógeno molecular (H₂) es poco frecuente en la Tierra, puede encontrarse ligado al agua y a los hidrocarburos.

Sin embargo, su baja densidad plantea problemas de almacenamiento y distribución. Como la licuefacción sólo es posible tras un enfriamiento por debajo de la temperatura crítica de 33,15 K

El principal objetivo de la adopción de la economía del hidrógeno es lograr la neutralidad climática en 2050.

La importancia del hidrógeno se ha subrayado repetidamente en los documentos estratégicos del Pacto Verde, incluida la "Estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra".

Propiedades físicas

Peso molecular: 2,02 g

Punto de ebullición: -252,9 °C

Punto triple: -259,2 °C

Temperatura crítica: -239,9 °C

Presión crítica: 12,8 atm

Densidad del gas a 0 °C y 1 atm (aire = 1): 0,089 g/l

Densidad del gas a 25 °C y 1 atm (aire = 1): 0,069 g/l

Temperatura de autoignición en aire a 1 atm: 570 °C

Aunque el hidrógeno es relativamente inactivo a temperatura ambiente, reacciona con la mayoría de los demás elementos a temperaturas elevadas. Por ejemplo, el hidrógeno puede reducir los óxidos metálicos a temperaturas elevadas. Esta reactividad a temperaturas elevadas se utiliza ampliamente en la mayoría de las instalaciones industriales de hidrógeno fuera del sector energético.

Por lo tanto, el hidrógeno puede considerarse incompatible con oxidantes como el aire, el oxígeno y los halógenos. Por ejemplo, el flúor y el hidrógeno reaccionan a una temperatura de 250 °C en presencia de impurezas. Las mezclas de cloro e hidrógeno son propensas a la explosión cuando se exponen a la luz, y el litio arde en una atmósfera de hidrógeno.

El hidrógeno es un gas extremadamente inflamable y arde en el aire con una llama azul pálido prácticamente invisible en concentraciones del 4 al 75% en volumen en condiciones estándar.

Además, el hidrógeno se procesa a presiones elevadas. Si se produce una fuga, el hidrógeno provoca un efecto Joule-Thompson inverso, lo que hace que el gas que se escapa se caliente lo suficiente como para inflamarse inmediatamente. Esto aumenta la baja energía mínima de ignición de la mezcla inflamable de hidrógeno y aire, haciéndola más sensible a la probabilidad de ignición en comparación con otros gases inflamables.

La probabilidad de ignición también es mayor en comparación con otros gases inflamables porque el pequeño tamaño de la molécula de hidrógeno le permite filtrarse más fácilmente a través de pequeños orificios. Esta propiedad es la razón por la que los equipos destinados a contener hidrógeno

a veces se someten a pruebas de estanqueidad con helio, un gas inerte, ya que el tamaño de su molécula es comparable al del hidrógeno.

Como el hidrógeno es más ligero que el aire, el gas se eleva fácilmente a la atmósfera, a diferencia del propano, que permanece a nivel del suelo, lo que aumenta el riesgo de explosión. La práctica demuestra que el hidrógeno no se inflama al aire libre.

Por lo tanto, el principal peligro asociado al uso del hidrógeno es la formación de mezclas inflamables con el aire que, cuando se exponen a una fuente de ignición, pueden provocar un incendio o, posiblemente, una deflagración. El espacio en el que puede propagarse una llama de hidrógeno es mucho más estrecho que el de la mayoría de los demás gases, lo que hace muy difícil diseñar motores eléctricos que sean suficientemente "resistentes" para su uso en atmósferas en las que pueda haber una mezcla inflamable de hidrógeno y aire.

Preguntas:

1. Por qué se intenta sustituir los combustibles fósiles por hidrógeno?
2. Cuándo y con qué fin comenzó a utilizarse industrialmente el hidrógeno?
3. Cuándo comenzó a utilizarse el hidrógeno como combustible para motores de cohetes?
- 4.Cuál es la principal ventaja del hidrógeno como combustible?
5. Cuáles son las otras ventajas del hidrógeno como combustible?

1 EL HIDRÓGENO COMO FUENTE DE ENERGÍA

1.1 OBJETIVOS:

En este capítulo examinaremos brevemente las formas de producir hidrógeno a partir de combustibles fósiles, o por electrólisis del agua utilizando electricidad obtenida, por ejemplo, de fuentes de energía renovables.

1.2 PALABRAS CLAVE:

Producción de hidrógeno, combustibles fósiles, reformado con vapor, oxidación parcial, electrólisis, fuentes alternativas

Puede obtener más información sobre la producción de hidrógeno en otro módulo, pero a efectos de una visión general en esta sección, también la mencionamos aquí.

Una de las alternativas para sustituir los combustibles de hidrocarburos es el uso de hidrógeno, una sustancia que apenas se da por sí sola en la naturaleza y que, por tanto, hay que producir.

Una posible forma de obtenerlo es a partir de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón, pero esto es contrario a la reducción de la producción de estos combustibles.

La segunda forma posible es utilizar la electrólisis del agua, que requiere una cantidad importante de energía eléctrica que debe generarse de alguna manera, como en las centrales eléctricas convencionales, que, sin embargo, consumen combustibles fósiles.

La producción de hidrógeno puede dividirse en:

- producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles
- producción de hidrógeno por electrólisis
- producción de hidrógeno a partir de biomasa
- producción de hidrógeno a partir de fuentes de energía alternativas.

1.1 PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES

1.1.1 REFORMADO AL VAPOR DEL GAS NATURAL

- actualmente el método más extendido de producción de hidrógeno

Proceso:

1. Desulfuración del gas natural
2. Reformado de metano con vapor
3. Conversión de CO
4. CO₂ depuración
5. Metanización

Ventaja: costes de producción más bajos (36-38% inferiores a la producción de hidrógeno mediante oxidación parcial de hidrocarburos y gasificación del carbón).

1.1.2 OXIDACIÓN PARCIAL DE HIDROCARBUROS

- Es la segunda forma más común de producir hidrógeno en el mundo. Pueden utilizarse como materia prima tanto materias primas gaseosas como líquidas obtenidas del procesamiento primario y secundario del petróleo.
- La materia prima se gasifica con vapor y oxígeno a temperaturas de 1300-1430 °C.
- La alta temperatura y la ausencia de catalizador permiten utilizar como materia prima fracciones de aceites pesados, fuelóleos, residuos de vacío y asfaltos de propano, que se caracterizan por una importante formación de hollín.

Inconveniente: formación de monóxido de carbono junto con dióxido de carbono.

1.1.3 GASIFICACIÓN DEL CARBÓN

- La producción de hidrógeno mediante la gasificación del carbón es similar a su producción mediante la oxidación parcial de los residuos del petróleo.

Proceso:

1. producción de gas de síntesis mediante gasificación de carbón con oxígeno o aire y vapor en un generador de gasificación
2. refrigeración del gas de síntesis caliente
3. purificación y separación del gas del hidrógeno del gas

Desventaja: mayor coste de producción

1.2 PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTRÓLISIS DEL AGUA

- Tecnología de producción clásica y probada

Proceso:

- Una corriente eléctrica continua que pasa por dos electrodos metálicos sumergidos en agua se utiliza para disociar el agua en hidrógeno gaseoso y oxígeno gaseoso.
- La producción de hidrógeno por electrólisis también puede realizarse utilizando energía eléctrica producida a partir de fuentes renovables como la energía solar, eólica, hidráulica o nuclear.

1.3 PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE BIOMASA

La producción de hidrógeno a partir de biomasa puede dividirse en dos procesos:

- reformado al vapor de biomasa - pirólisis
- procesos biotecnológicos - fermentación

Otro método posible es el uso de derivados de la biomasa, como el bioetanol y el biogás, pero en este caso es mejor utilizar estos derivados directamente como combustible.

Los sustratos procesados por este método van desde los residuos sólidos urbanos, los residuos de la industria alimentaria, el petróleo, hasta la biomasa agrícola cultivada a propósito o de desecho.

1.4 PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVAS

Como se ha descrito anteriormente, la electrólisis del agua también puede realizarse utilizando electricidad producida a partir de fuentes renovables.

La fuente de energía más prometedora en este ámbito es la energía solar. Para aumentar la eficacia de la producción de hidrógeno, se están desarrollando nuevos métodos de electrólisis del agua, como:

- electrólisis a alta temperatura (termólisis)
 - o parte de la energía se suministra en forma de energía eléctrica, mientras que el resto se suministra en forma de calor
 - o la ventaja es una mayor eficacia del proceso gracias a un menor consumo de electricidad
- ciclos termoquímicos
 - o el agua se divide en oxígeno e hidrógeno mediante una serie de reacciones químicas, desencadenadas por el calor o una combinación de calor y electricidad en ciclos híbridos (el más conocido es el ciclo termoquímico - ciclo híbrido de ácido sulfúrico de la empresa Westinghouse).

1.5 REFERENCIAS

HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

1.6 PREGUNTAS AL FINAL DEL CAPÍTULO:

1. Por qué es necesario producir hidrógeno para utilizarlo como fuente de energía?
2. Por qué es necesario el hidrógeno para producir energía?
- 3.Cuál es la ventaja del reformado al vapor del gas natural?
- 4.Cuál es la materia prima en la oxidación parcial de hidrocarburos?
- 5.Cuál es el inconveniente de la oxidación parcial de hidrocarburos?
- 6.Cuál es el inconveniente de producir hidrógeno mediante la gasificación del carbón?
7. En qué consiste el proceso de producción de hidrógeno por electrólisis del agua?
8. Qué es la fermentación?
9. Qué sustratos se utilizan para producir hidrógeno a partir de biomasa?
10. La electrólisis del agua también puede realizarse utilizando electricidad generada a partir de fuentes renovables. Enumera algunas.Cuál de estas fuentes es la más prometedora?
11. Cuáles son las nuevas variantes de la descomposición del agua?

2 PILAS DE COMBUSTIBLE

2.1 OBJETIVOS:

El objetivo de este capítulo es comprender el principio de la generación de energía mediante una pila de combustible y conocer sus diferentes tipos.

2.2 PALABRAS CLAVE:

Pila de combustible, agente oxidante, hidrógeno, membrana, óxidos sólidos

2.1 INTRODUCCIÓN

Todos los vehículos con motor de combustión interna que se fabrican hoy en día queman combustibles fósiles, lo que repercute negativamente en el medio ambiente. En comparación, los vehículos eléctricos de batería ofrecen numerosas ventajas. Son silenciosos, no emiten sustancias nocivas al medio ambiente, no necesitan transmisión para funcionar y sus motores eléctricos son muy eficientes. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes de los vehículos de batería es su elevado peso y la limitada vida útil de las baterías. Las pilas de combustible se presentan como una alternativa a estas pesadas baterías. Los vehículos propulsados por pilas de combustible también tienen un impacto reducido en el medio ambiente, no dependen de los combustibles fósiles y son muy eficientes. Las pilas de combustible pueden proporcionar energía ilimitada en condiciones específicas y su potencia de salida puede ajustarse fácilmente dentro de una amplia gama.

2.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

La descomposición del agua en oxígeno e hidrógeno mediante corriente eléctrica fue demostrada por primera vez en 1802 por Sir Davy Humphrey. La conclusión de su experimento fue que seguía existiendo una pequeña carga eléctrica en los electrodos incluso después de haber desconectado la fuente de la corriente eléctrica. Sin embargo, fue incapaz de explicar adecuadamente este fenómeno.

El principio básico de la pila de combustible fue descubierto en 1838 por el científico suizo Christian Friedrich Schönbein, que lo describió en una de sus publicaciones un año después. El artículo hablaba del descubrimiento del ozono y de la reacción entre el oxígeno y el hidrógeno que producía un potencial eléctrico en los electrodos. Sir William Grove, considerado el "padre" de las pilas de combustible, construyó el primer prototipo funcional basándose en este trabajo teórico. En 1843,

volvió a escribir sobre este tema en un artículo centrado en el almacenamiento de energía eléctrica mediante gases.

El término "pila de combustible" fue probablemente utilizado por primera vez por Charles Langer y Ludwig Mond en 1889, cuando intentaron desarrollar una pila alimentada por gas de lámpara. A pesar de las mejoras introducidas por William Jacques, que utilizó ácido fosfórico como electrolito, el coste de fabricación de esta pila seguía siendo demasiado elevado. Tras la invención de la dinamo por Werner von Siemens, la pila de combustible cayó en el olvido y no fue hasta 1952 cuando su inventor, Francis Thomas Bacon, presentó el primer prototipo utilizable con una potencia de 5 kW. Este prototipo utilizaba hidróxido potásico como electrolito.

En la década de 1960, la pila de combustible de hidrógeno se convirtió en un tema importante y muy abordado debido a la investigación espacial, ya que tiene una relación energía-peso más favorable en comparación con otras fuentes de energía. Las pilas de combustible se instalaron, por ejemplo, en las naves espaciales Apolo y también alimentaron los transbordadores espaciales. Cada orbitador albergaba tres pilas de combustible, cada una con una potencia continua de 7 kW y una potencia máxima de 12 kW. Una de las principales ventajas era que el producto residual de la pila de hidrógeno-oxígeno era agua pura, que podía utilizarse en el sistema de agua del transbordador.

Desde el final de la Segunda Guerra Mundial, la Marina alemana tiene prohibido utilizar submarinos nucleares, por lo que buscaba una fuente alternativa de energía eléctrica. Una solución fue el uso de pilas de combustible, con células que producían 30 kW de potencia utilizadas en las generaciones más antiguas de buques, y células que producían 120 kW de potencia utilizadas en las más recientes. De 2005 a 2008 se puso en funcionamiento en Noruega la primera autopista del hidrógeno, denominada HyNor, con una longitud de 560 km.

En 2008 se puso en marcha una red de estaciones de repostaje de hidrógeno y alquiler de coches con pila de combustible en las ciudades de Los Ángeles, San Francisco y Las Vegas, en Estados Unidos. Se trata de vehículos Honda FCX Clarity con una pila de combustible PEM de 100 kW. En junio de 2009 se puso en funcionamiento en la República Checa el TriHyBus, el primer autobús con pila de combustible del antiguo bloque del Este. En octubre de 2009, se puso en marcha en Neratovice la primera estación de servicio de hidrógeno de los países del antiguo bloque del Este.

2.3 PRINCIPIO

Las pilas de combustible se definen generalmente como dispositivos electroquímicos y su función es convertir el hidrógeno (combustible) y el oxígeno (oxidante) en energía eléctrica. Estas pilas galvánicas contienen dos electrodos separados por una membrana o un electrolito. El combustible (hidrógeno) se suministra al electrodo positivo, mientras que el agente oxidante (oxígeno) se suministra al electrodo negativo. Los electrones se crean en el electrodo positivo (ánodo) y fluyen a través de un circuito eléctrico externo hasta el electrodo negativo (cátodo), generando una corriente eléctrica. En teoría, una pila de combustible puede funcionar continuamente siempre que no se interrumpa el suministro de combustible u oxidante a los electrodos.

Existen muchas combinaciones de combustible y oxidante. Por ejemplo, una célula de oxihidrógeno utiliza hidrógeno como combustible y oxígeno como oxidante, produciendo agua pura como producto residual. Otras pilas utilizan hidrocarburos y alcoholes como combustibles. En lugar de oxígeno puro, pueden utilizarse aire, cloro o dióxido de cloro como agentes oxidantes.

Los electrodos pueden ser de carbono (nanotubos) o de diversos metales, y su eficacia puede aumentarse recubriéndolos con catalizadores, como paladio o platino.

Como electrolito pueden utilizarse distintos ácidos, principalmente ácido fosfórico (H3PO4), o bases, sobre todo hidróxido de potasio (KOH), cerámicas o membranas. En determinadas pilas de combustible, se utiliza gas a alta presión como electrolito. El electrolito más utilizado en la actualidad es el KOH, que ya se utilizó en las pilas del proyecto Apolo. Sin embargo, el inconveniente de este electrolito es que el oxidante debe limpiarse de CO2 para evitar que el dióxido de carbono reaccione con él, ya que el carbonato de potasio resultante dejaría de cumplir la función de electrolito.

La tensión eléctrica resultante es teóricamente de unos 1,23 voltios, y su valor depende del tipo de combustible utilizado y de la calidad de la pila. En la actualidad, las pilas más utilizadas suelen producir una tensión de 0,5 a 0,95 V. Para conseguir una tensión mayor, se pueden conectar varias pilas de combustible en serie. La magnitud de la corriente depende de la superficie de la pila, y las disponibles hoy en día en el mercado pueden proporcionar aproximadamente 0,5 W/cm².

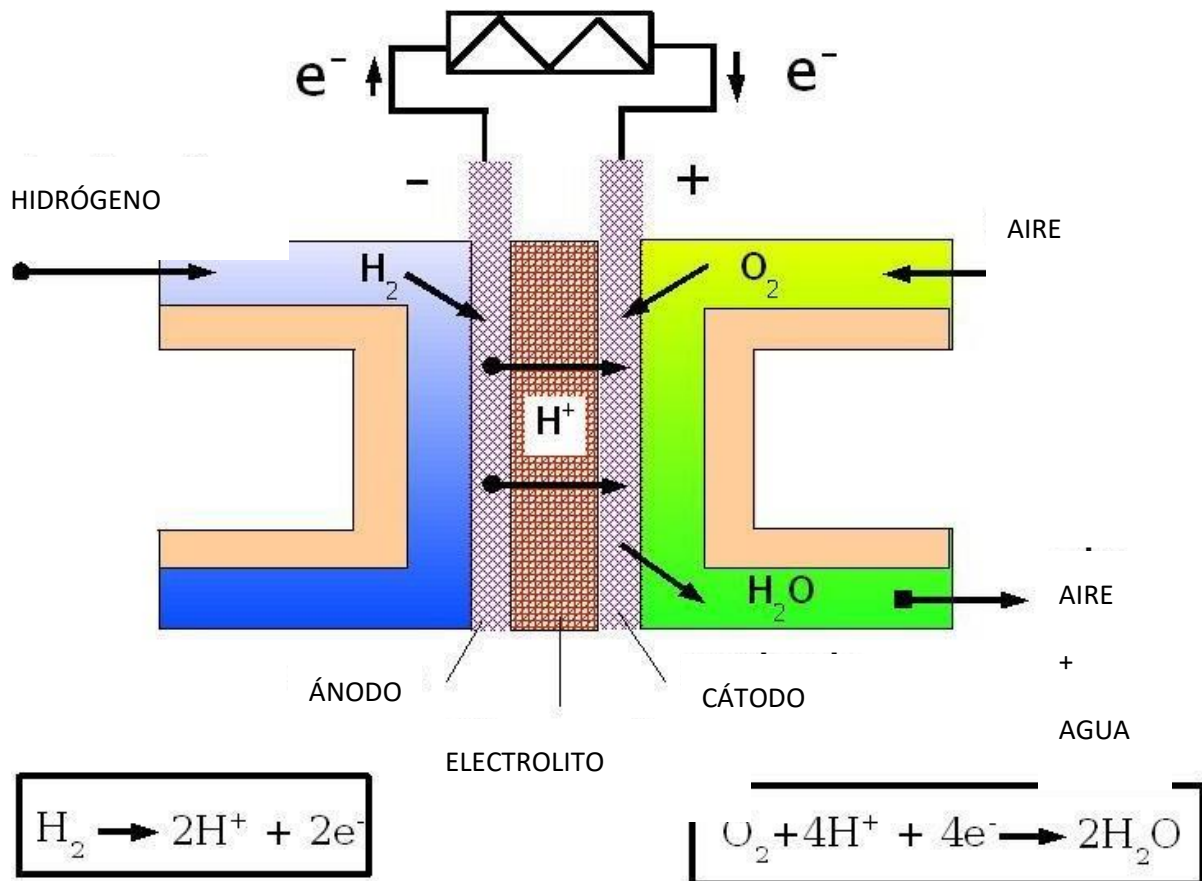


Imagen 1 - representación esquemática de las reacciones en una pila de combustible (fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fuel cell](https://es.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell))

El combustible se oxida catalíticamente en el ánodo para producir cationes (como hidrógeno a H⁺). Estos cationes pasan a través de la membrana o al electrolito. Los electrones liberados se recogen en el ánodo y viajan hacia el dispositivo eléctrico. Como los electrones tienen carga negativa, la corriente eléctrica fluye en sentido contrario, desde el cátodo (+), a través del dispositivo eléctrico hasta el ánodo (-). En el cátodo, el agente oxidante se reduce a aniones (como el oxígeno a O₂⁻), que luego se combinan con cationes (por ejemplo, hidrógeno y oxígeno para formar agua).

2.4 TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

Las pilas de combustible pueden clasificarse por su temperatura de funcionamiento en pilas de baja y alta temperatura, o por el electrolito que utilizan.

2.4.1 PILAS DE COMBUSTIBLE DE ELECTROLITO ALCALINO (AFC)

Estas pilas se encuentran entre las más antiguas y utilizan como electrolito una solución acuosa de hidróxido alcalino (NaOH, KOH) fijada en una matriz de amianto. Su temperatura de funcionamiento puede alcanzar los 230 °C. Se utiliza hidrógeno puro como combustible y oxígeno puro o aire sin dióxido de carbono como agente oxidante.

En estas células pueden utilizarse varios tipos de catalizadores, no sólo los basados en el platino. Pueden utilizarse níquel, plata, sus óxidos o metales nobles. Estas células se han utilizado principalmente en aplicaciones espaciales o militares.

2.4.2 PILAS DE COMBUSTIBLE DE MEMBRANA POLIMÉRICA (PEMFC)

En este tipo de pilas de combustible se utiliza una membrana polimérica como electrolito. La membrana debe ser conductora de iones de hidrógeno (protones) y debe humedecerse para funcionar correctamente. Los fluoropolímeros sulfonados (Nafions) son los más utilizados. A menudo se utiliza platino como catalizador, aplicado en forma de capa de difusión de gas, para crear un electrodo de difusión de gas con un catalizador fijo. Se utiliza hidrógeno o metanol como combustible y oxígeno o aire como oxidante. La temperatura de funcionamiento de este tipo de célula es de hasta 90 °C, lo que la convierte en la mejor opción para alimentar vehículos.

2.4.3 PILAS DE COMBUSTIBLE DE ÁCIDO FOSFÓRICO (PAFC)

El electrolito utilizado en esta pila de combustible es 100% ácido fosfórico, que se fija en una matriz, como amianto, polibencilimidazol. La temperatura de funcionamiento de estas pilas es de 150-220 °C, y las temperaturas superiores a 180 °C tienen la ventaja de desplazar la constante de equilibrio a favor del dióxido de carbono, lo que elimina el problema de la intoxicación por monóxido de carbono. En este caso, podemos utilizar directamente el gas procedente del reformado con vapor.

Una vez más, el platino se utiliza como catalizador, y el hidrógeno, que se genera a partir de combustibles fósiles mediante reformado con vapor, se utiliza como combustible. Como oxidante se utiliza aire. Estas pilas de combustible se utilizan en unidades de cogeneración.

2.4.4 PILAS DE COMBUSTIBLE DE CARBONATO FUNDIDO (MCFC)

En estas pilas de combustible se utiliza como electrolito una masa fundida de una mezcla de carbonatos alcalinos y su temperatura de funcionamiento oscila entre 600-700 °C. Los carbonatos mencionados forman una masa fundida de sales altamente conductoras.

En estas pilas de combustible no se necesitan costosos catalizadores, ya que el reformado interno aumenta su eficiencia, por lo que el combustible no tiene que ser extremadamente limpio. Como combustible se utiliza gas procedente del reformado al vapor de combustibles fósiles o biogás, y como agente oxidante, aire. Estas pilas de combustible se utilizan en centrales eléctricas y unidades de cogeneración.

2.4.5 PILAS DE COMBUSTIBLE DE ÓXIDO SÓLIDO (SOFC)

En este tipo de pila de combustible se utiliza una membrana cerámica como electrolito y no se necesitan costosos catalizadores. Estas pilas funcionan a altas temperaturas (en torno a 800-1000°C), y su eficiencia puede aumentarse utilizando los productos de la reacción en una turbina de expansión. Como combustible puede utilizarse gas procedente del reformado al vapor de combustibles fósiles y biogás, gas natural o biogás, y el aire se utiliza como agente oxidante. Este tipo de pila de combustible encuentra aplicaciones en unidades de cogeneración y centrales eléctricas.

2.5 PREGUNTAS AL FINAL DEL CAPÍTULO:

- Cuáles son las ventajas de los vehículos con batería frente a los vehículos con motor de combustión interna?
- Quién construyó el primer prototipo funcional de pila de combustible?
- Cuál es el producto de desecho de una pila de combustible de hidrógeno-oxígeno?
- Cuál es una de las mayores desventajas de los vehículos eléctricos?
- Qué es una pila de combustible?
- En qué consiste una pila de combustible?

3 MOTORES ELÉCTRICOS EN VEHÍCULOS

3.1 OBJETIVOS:

En esta sección conoceremos los distintos tipos de motores eléctricos para vehículos de hidrógeno, su diseño, características, ventajas e inconvenientes.

3.2 PALABRAS CLAVE:

Estator, rotor, conmutador, bobinado de excitación, imán permanente, características de par, síncrono, asíncrono, motor de reluctancia

3.1 MOTORES DE CC (CORRIENTE CONTINUA)

El motor de corriente continua es uno de los motores más antiguos y, como cualquier otro motor, consta de un estator y un rotor. El estator es la parte que da soporte mecánico al motor y contiene los polos de la máquina, que pueden ser devanados de hilo de cobre sobre un núcleo de hierro o imanes permanentes. El rotor es un componente generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente continua a través del colector formado por delgas. Las delgas se fabrican generalmente de cobre y están en contacto alternante con las escobillas fijas.

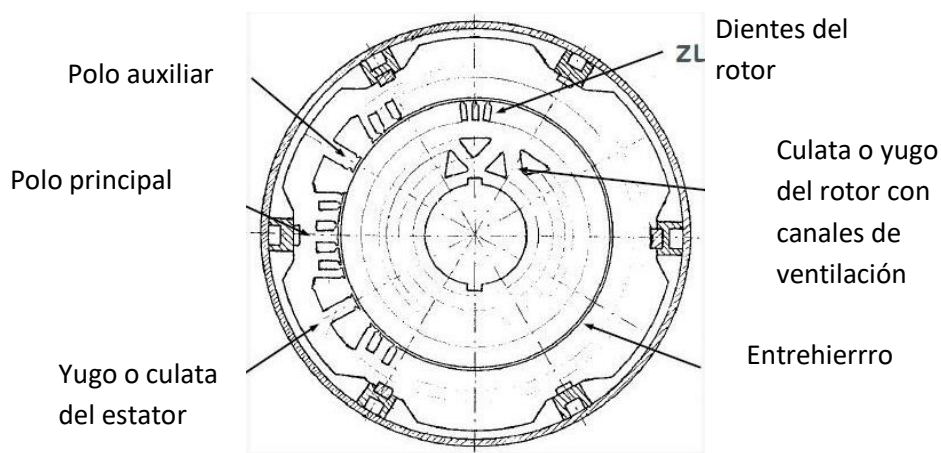


Imagen 2 - Circuito magnético de un motor de corriente continua

El campo magnético excitado por el devanado inductor en el estator actúa sobre el campo magnético generado en el rotor debido a la corriente suministrada al devanado inductor a través de las escobillas, dando lugar a una fuerza de rotación, o par. El par de rotación es constante en los motores DC gracias a las delgas que conmutan el sentido de la electricidad que circula por el rotor.

Según el modo en que se alimenten los el devanado del inductor y el inducido, los motores de corriente continua pueden dividirse en motores con excitación externa o con autoexcitación. Los motores con autoexcitación se clasifican a su vez en motores serie, paralelo (derivados) o serie-paralelo (compuestos).

3.1.1 MOTOR DE CC DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

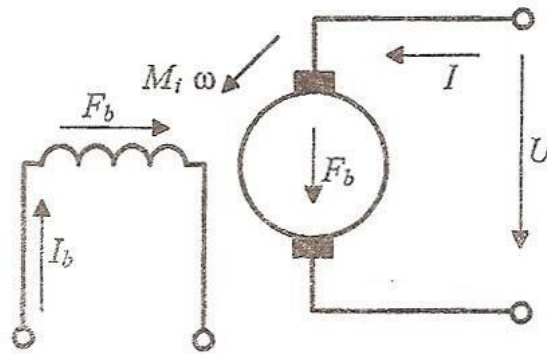


Imagen 3 - Esquema de un motor de corriente continua de excitación independiente

El devanado del inductor se alimenta a partir de una fuente externa independiente, como un acumulador. La regulación se realiza ajustando la tensión en el rotor y la corriente de excitación. El motor de CC con excitación externa tiene una característica de par mecánico grande que resulta especialmente ventajosa para fines de tracción. La ventaja es su control de velocidad sencillo y suave en un amplio rango y su capacidad para pasar suavemente de la conducción al frenado. Sin embargo, tiene un par de calado inferior.

Además, con un aumento de la tensión en todo el sistema del motor, se consigue una mayor eficiencia debido a la reducción de las caídas de tensión en las escobillas. Esto también se traduce en un menor flujo de corriente en el motor y los circuitos de conexión, lo que se traduce en ventajas como un menor peso, un tamaño más pequeño y menores costes de producción. Estos motores tienen una alta capacidad de sobrecarga, capaz de manejar un 20% más de potencia que la potencia continua nominal durante una hora. Durante el arranque, pueden incluso soportar un 100% más de potencia durante un breve periodo de tiempo. Estos motores se han utilizado mucho en vehículos eléctricos, ya que pueden alimentarse directamente de la batería.

3.1.2 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA SERIE

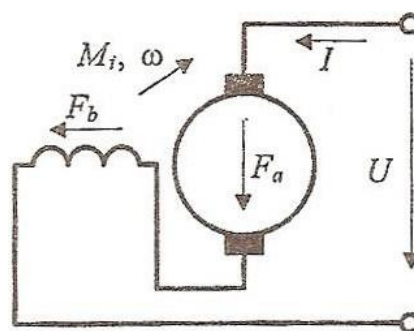


Imagen 4 - Esquema de un motor de corriente continua en serie

El inductor está conectado en serie con el inducido, por lo que la corriente en el inducido es también la corriente del inductor. Esto simplifica la regulación del motor, ya que su tensión es proporcional al valor de corriente requerido, lo que permite al regulador de potencia controlar la tensión de la batería

conmutando o ajustando la frecuencia. El motor eléctrico en serie tiene un buen par de arranque, pero la característica de par es muy suave, con una rápida caída del par a medida que aumentan las Revoluciones Por Minuto (RPM). Si se reduce la carga, las RPM pueden aumentar hasta el punto de causar daños al motor. Por lo tanto, no se recomienda su funcionamiento sin carga en el eje. Estos motores se utilizan en coches eléctricos y vehículos de tracción eléctrica, como trenes, metros y tranvías, debido a su elevado par a bajas velocidades y a su capacidad para autoajustar las velocidades en función de la carga.

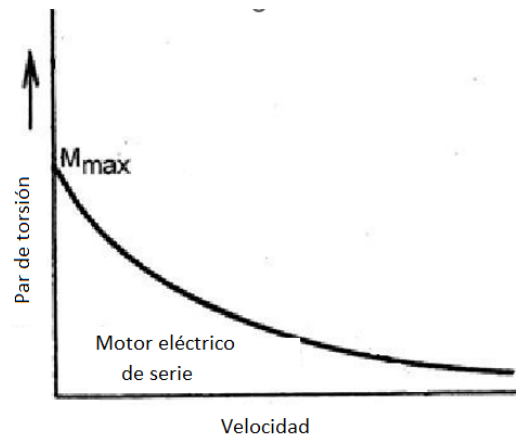


Imagen 5 - Característica de par-velocidad de un motor de DC serie

3.1.3 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA PARALELO

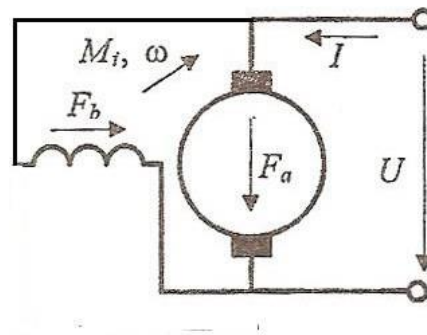


Imagen 6 - Diagrama esquemático del motor de DC paralelo

los devanados de inductor e inducido están conectados en paralelo a la fuente a través de elementos de control separados. Este tipo de motor eléctrico puede regularse con facilidad y suavidad, pero en menor medida que un motor de DC con excitación externa. Tienen una característica de par más dura. El par disminuye más lentamente, aunque de forma lineal, al aumentar las revoluciones. Además, el motor frena con facilidad. Por estas razones, este tipo de motor eléctrico se ha utilizado en la mayoría de los vehículos eléctricos.

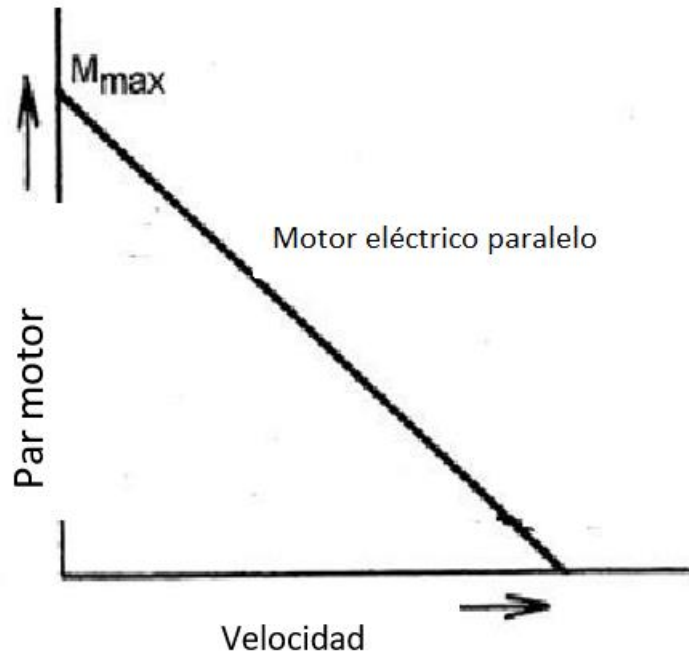


Imagen 7 - Características de par de un motor de CC paralelo

3.1.4 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA COMPUESTO

Un motor eléctrico compuesto combina las ventajas de los dos motores eléctricos anteriores, tiene un devanado inductor conectado en serie y el otro en paralelo al inducido. El bobinado en serie está conectado magnéticamente en correspondencia con el bobinado en derivación y provoca una reducción de la velocidad y un aumento del par cuando el motor está cargado. En cambio, el bobinado en derivación limita la velocidad al ralentí.

3.1.5 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA SIN ESCOBILLAS

Un motor de DC sin escobillas tiene las posiciones del rotor y el estator intercambiadas en comparación con un motor de DC convencional de excitación permanente. El devanado está situado en el estator exterior, donde normalmente se encuentran los imanes permanentes, y los imanes permanentes están en el rotor. Esta construcción es similar a la de un motor síncrono de excitación permanente. El conmutador suministra al bobinado del estator una corriente continua modulada por impulsos, lo que reduce el coste de la conmutación electrónica, ya que el bobinado del estator suele constar sólo de tres o cuatro haces de bobinados. Estos haces se ajustan de tal manera que la densidad de flujo del estator y el rotor se desfasan aproximadamente 90° , lo que fija la posición del rotor. Para ello se suelen utilizar sondas Hall, un sistema optoelectrónico o un sistema magnetorresistivo.

Los motores de corriente continua sin escobillas no sólo tienen devanados electrónicos de potencia adicionales, sino que también utilizan nuevos materiales magnéticos permanentes, como el neodimio-hierro-boro y el samario-cobalto, aunque estos últimos siguen siendo relativamente caros.

La última solución avanzada procede de la empresa Magnet Motor Company, que presume de una construcción sencilla, excelentes parámetros eléctricos y un peso y tamaño compactos. Este motor pertenece al grupo de motores síncronos de conmutación electrónica con excitación permanente. En todos los motores eléctricos, el par alcanzado es proporcional a la inducción magnética en el entrehierro, la longitud axial del rotor y el cuadrado del radio del entrehierro. El diseño del rotor exterior es ventajoso porque el momento depende del radio del entrehierro elevado al cuadrado. Se compone de láminas prensadas con imanes separados, magnetizados tangencialmente, de polaridad alterna (neodimio-hierro-boro), lo que hace que no haya piezas eléctricas giratorias. En su interior hay un estator, que se compone de láminas eléctricas prensadas y forma soportes de bobinas de alto polo. Las bobinas están conectadas a la salida de la electrónica de potencia, que conmuta las corrientes en el bobinado del estator para que el motor se comporte como un motor de corriente continua con excitación externa. Es llamada conmutación electrónica. La regulación es sencilla e impecable en toda la gama de velocidades. Para gestionar la potencia diez veces mayor en comparación con los diseños de motores eléctricos convencionales, el devanado del estator se refrigera por líquido. Además, el motor es hasta cuatro veces más ligero que los diseños convencionales, y más pequeño.

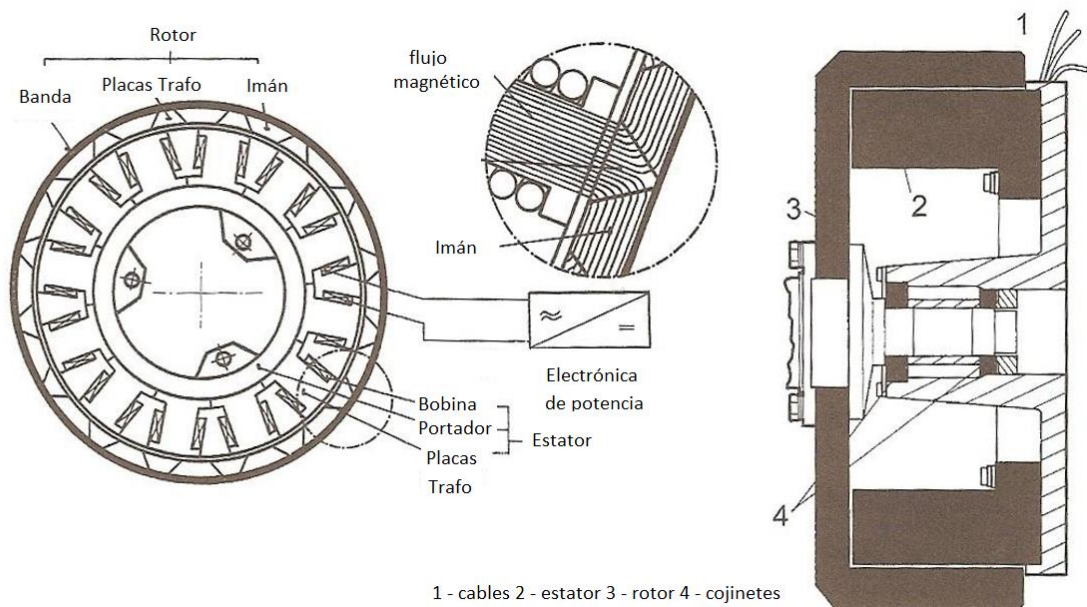


Imagen 8 - Esquema y sección transversal del motor de la empresa Magnet-Motor

3.2.1 RESUMEN

Las ventajas de los motores de corriente continua (CC) son la facilidad con la que se controla su velocidad y calidad de sus características dinámicas. Sin embargo, tienen un rendimiento y una eficiencia energética más bajos, requieren más mantenimiento y son más caros.

Ventajas del motor de corriente continua:

- Técnicamente evolucionado
- Fácil de controlar
- Económico

Desventajas de los motores de corriente continua:

- El conmutador y las escobillas son propensos a fallar y deben recibir un mantenimiento riguroso.
- La velocidad periférica máxima está limitada por la frecuencia de rotación a aprox. 7000 min⁻¹

La eficiencia y la densidad de potencia son menores en comparación con los motores de CA (corriente alterna) Para regular todos los tipos anteriores de motores eléctricos, se utiliza la regulación electrónica de la alimentación del devanado del motor mediante tiristores de silicio con una curva de voltaje rectangular. El valor de corriente medio deseado se establece cambiando la frecuencia y la amplitud. Un aumento en la excitación del campo es suficiente para frenar dentro del rango de regulación del campo. Como resultado, el voltaje del motor se eleva por encima del voltaje de la batería, lo que permite que la energía se realimente a la batería a través de diodos.

3.3 MOTORES CA (CORRIENTE ALTERNA)

En vehículos eléctricos, los motores de CA reemplazan cada vez más a los motores de CC. La gran ventaja de los motores de CA en comparación con los motores de CC es que no es necesario suministrar corriente al rotor giratorio, ya que está excitado por el campo magnético giratorio. Las fuerzas del campo magnético actúan sobre el rotor y lo hacen girar por efecto de la corriente inducida. Los motores de CA se clasifican como motores asíncronos y motores síncronos, dependiendo de si el rotor gira a una velocidad diferente o en sincronía con el campo giratorio del estator.

4.2.1 MOTOR ASÍNCRONO

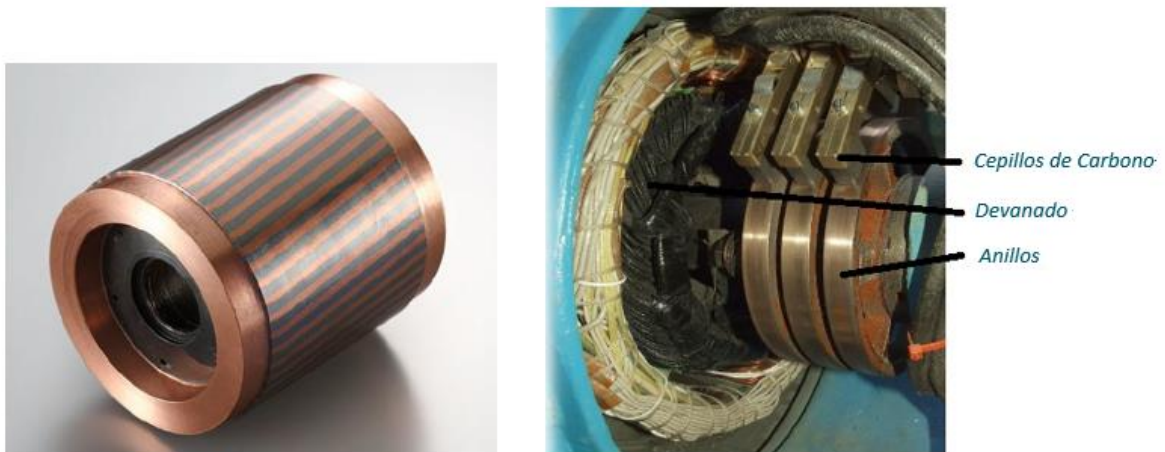


imagen 9 - Rotor y anillos de un motor asíncrono

La ventaja esencial del motor asíncrono trifásico es la eliminación del conmutador. El estator está compuesto de laminados, porque a través de ellos pasa un flujo magnético variable en el tiempo. Se coloca un devanado de estator trifásico en los polos o ranuras. El rotor se puede hacer como una jaula de ardilla o un anillo. El rotor de la jaula está compuesto por varillas gruesas de aluminio, bronce o cobre conectadas entre sí de manera corta, con laminados que llenan el interior. El rotor de anillos está equipado con un devanado a través del cual fluye la corriente suministrada por escobillas y anillos desde el exterior. Este diseño tiene las resistencias ubicadas detrás de los devanados del rotor, lo que brinda la capacidad de alterar las condiciones de operación. En los motores asíncronos, el flujo magnético es suministrado al estator por el devanado de campo, pero con un voltaje giratorio de amplitud y frecuencia variable, que debe derivarse del voltaje DC de la batería de tracción. Por lo tanto, la corriente continua del acumulador debe convertirse en corriente alterna. al encender cíclicamente los tiristores, lo que hace que la forma de onda rectangular cambie aproximadamente a una sinusoidal.

El devanado del estator está compuesto por al menos tres bobinados, girados 120° entre sí, y es alimentado por corriente alterna trifásica. Otra alternativa también puede ser $3n$ bobinados (n es un número entero), separados entre sí por un ángulo de $120^\circ/n$. Este devanado produce un campo magnético giratorio con una frecuencia circular de corriente alterna ω , o para n bobinados con una frecuencia circular ω/n , lo que significa que gira espacialmente en relación con la carcasa del motor.

En comparación con un motor de CC, un motor asíncrono es significativamente más pequeño y liviano con la misma potencia de salida, por lo que se puede esperar una relación potencia-peso de aproximadamente 1 kg/kW. Además, el motor tiene un diseño más simple, es robusto, no requiere mantenimiento, puede sobrecargarse mucho y puede alcanzar hasta 20.000 vueltas por minuto.

Tanto la frecuencia como el voltaje deben ser variables para regular la fuerza de tracción y la velocidad del motor. Cumplir con estos requisitos reglamentarios requiere altos costos de circuito de potencia. La recuperación de energía durante el frenado se puede hacer con alta eficiencia.

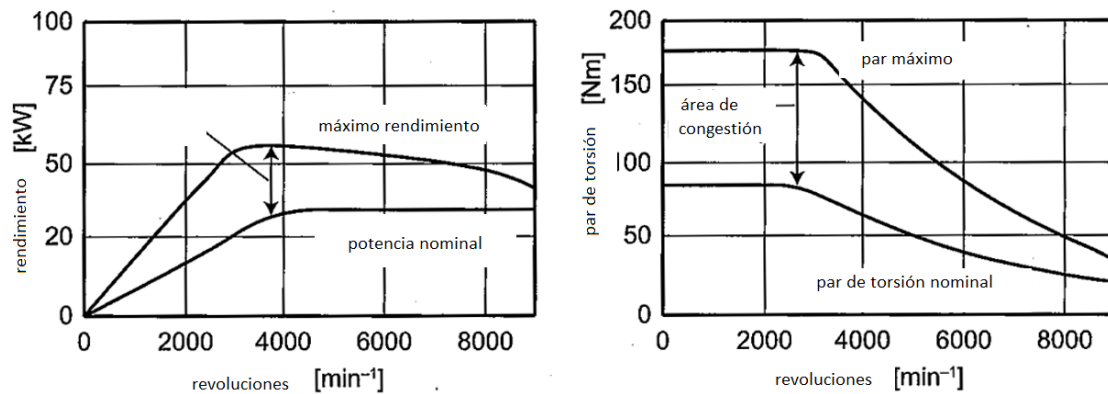


Imagen 10 - Características de potencia y par de un motor asíncrono

3.3.1 MOTOR DE FLUJO TRANSVERSAL

Este es un tipo especial de motor asíncrono de CA, donde la corriente se suministra al rotor en la dirección circunferencial y el flujo magnético del estator no es perpendicular al eje del rotor sino paralelo a él.

3.3.2 MOTOR SÍNCRONO

En los motores síncronos, la frecuencia circular coincide con el campo magnético circulante. Existen dos tipos de motores síncronos basados en el método de excitación del rotor, los que tienen devanado de excitación y los que están excitados por imanes permanentes. En el primero, el rotor está equipado con un devanado que se alimenta con corriente continua. El rotor puede ser liso o con polos salientes.

La ventaja de este diseño es que se logra una amplia gama de potencia máxima constante debido a la variación de la corriente continua.

En los motores síncronos de excitación permanente, el campo magnético en el rotor es excitado por imanes permanentes, lo que elimina la necesidad de energía eléctrica adicional. La ventaja de este diseño es su tamaño pequeño y alta eficiencia.

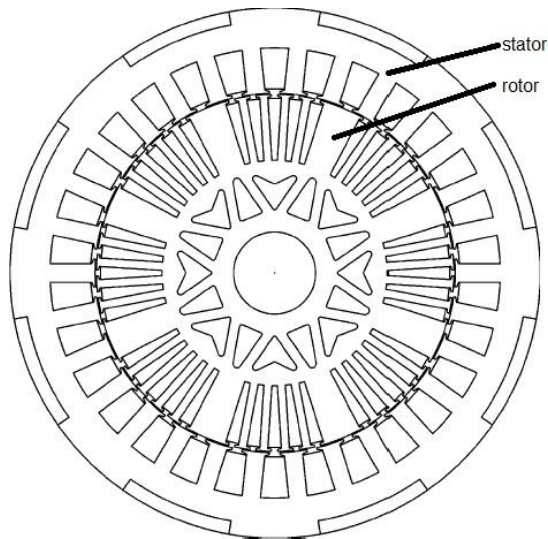


Imagen 10 – Rotor liso

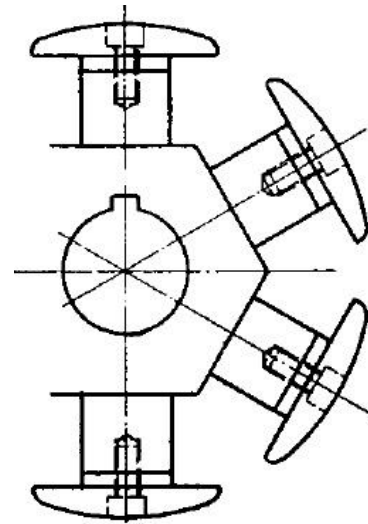


Imagen 11 – Polos salientes

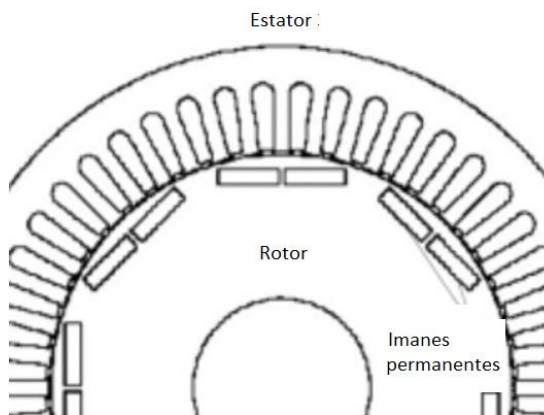


Imagen 12 -motor síncrono con imanes permanentes

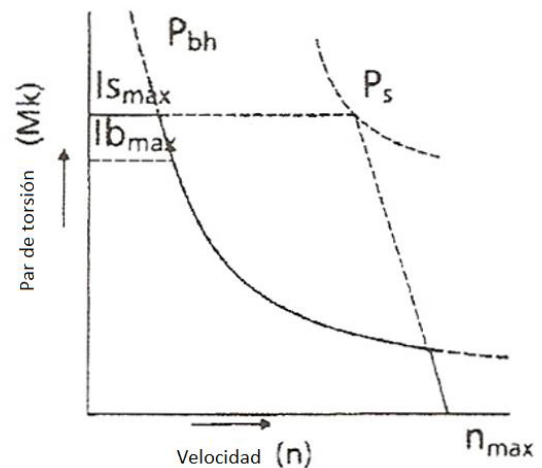


Imagen 13 – Par de fuerzas característico de un motor síncrono

3.3.3 Motores de reluctancia controlada

Los motores de reluctancia se basan en la conocida técnica de motores paso a paso de reluctancia, en la que se utilizan cambios en la conductividad magnética según la posición del rotor. Aunque los motores paso a paso de reluctancia se pueden producir de manera fácil y económica, han tenido un uso limitado durante muchas décadas debido a su falta de uniformidad, lo que significa que el par de fuerzas depende de la posición del rotor. Esta desventaja puede superarse mediante un control adecuado.

Hay dos tipos principales de motores de reluctancia: uno basado en el principio de una máquina síncrona con polos salientes y el otro denominado motor de reluctancia conmutada, que se basa en un convertidor electromecánico. El primer tipo es una máquina síncrona sin devanado de campo y un rotor que ha sido modificado para variar la conductividad magnética tanto como sea posible. Los motores de reluctancia conmutada son únicos porque no pueden funcionar sin la ayuda de circuitos

electrónicos, a diferencia de otras máquinas eléctricas. Dependiendo del método de control utilizado, pueden operar en modo paso a paso o en modo de rotación continua.

Un motor de reluctancia es un tipo especial de motor de CA. Hay bobinas simples en el estator alimentadas por voltaje de una polaridad. No hay devanado de campo o contactos deslizantes en su rotor. El rotor de hierro forjado tiene extensiones de polos en forma de engranaje

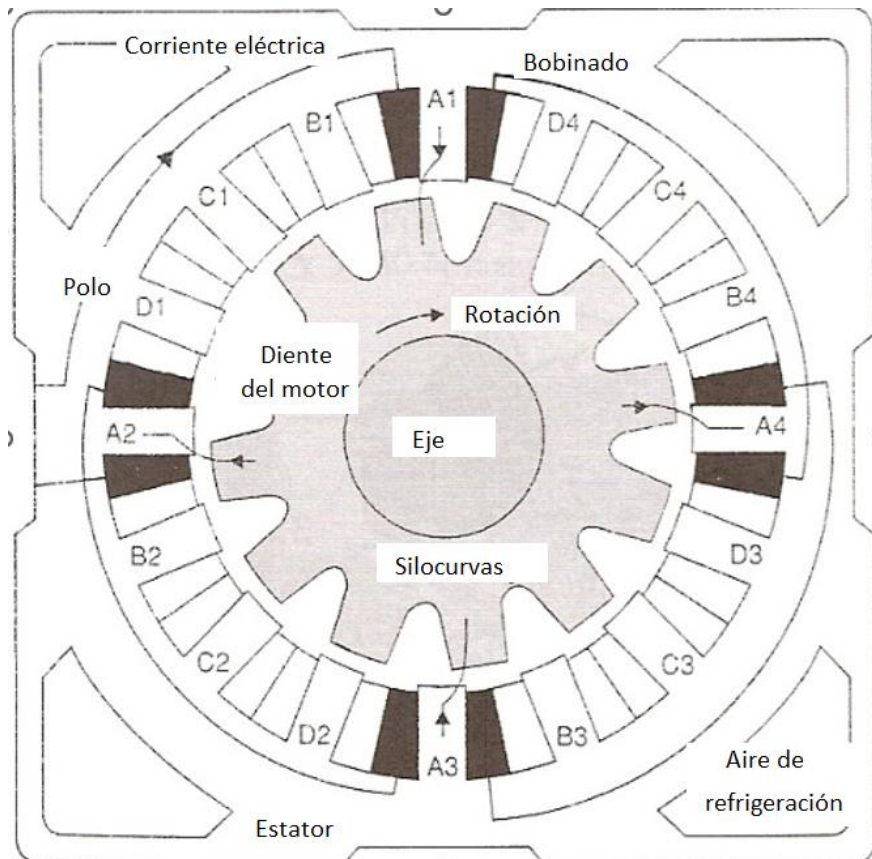


Imagen 14 – Motor de reluctancia controlada

El principio es que después de que se introduce corriente en las bobinas correspondientes, el rotor se ajusta para que el circuito magnético tenga una resistencia magnética mínima. La velocidad y el par del motor de reluctancia pueden estar muy bien influenciados por la electrónica de potencia. Un motor de reluctancia arranca de forma asíncrona y luego funciona de forma síncrona.

El concepto de reluctancia se refiere a la resistencia magnética que representa el rotor en el campo magnético. Debido a los espacios entre dientes sin masa en el rotor, el rotor del motor de reluctancia tiene un momento de inercia muy pequeño y, por lo tanto, posibilidades de aceleración muy altas.

Ventajas del motor de reluctancia:

- Par de fuerzas alto a velocidad baja
- Eficiencia alta
- construcción robusta

- costes de mantenimiento bajos
- funcionamiento estable del motor cuando falla una o más fases
- alta capacidad de sobrecarga y baja producción de calor
- alta eficiencia y precio bajo

Desventajas de los motores de reluctancia:

- el par de fuerzas no es uniforme
- más ruidoso
- tiene altas exigencias en las partes de control y potencia a altas velocidades

3.3.4 RESUMEN

Ventajas de motores AC:

- técnicamente perfectos
- construcción compacta y robusta, y por lo tanto sin mantenimiento
- permite velocidades altas
- eficiencia tan alta como la de los motores CC

Desventajas de los motores AC:

- control exigente
- precio más alto

La siguiente tabla compara los motores eléctricos de tracción más comunes y, como puede verse, todos los tipos enumerados son aptos para la conducción de vehículos, especialmente motores síncronos. El mejor cumplimiento de la característica dada se evalúa con el número 10.

| Precio | Eficacia | Peso | Rango de prestaciones indicando. | Motor | Capacidad de sobrecarga | Fiabilidad | Estado de desarrollo |
|--------|----------|------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| 10 | 7 | 6 | 10 | CC | 10 | 7 | 10 |
| 8 | 8 | 6 | 9 | Asíncrono | 10 | 9 | 9 |
| 8 | 10 | 7 | 10 | Síncronico | 10 | 9 | 8 |
| 7 | 10 | 8 | 8 | Transversal | 10 | 10 | 7 |
| 9 | 6 | 7 | 4 | Reluctancia controlada | 10 | 9 | 5 |
| 8 | 10 | 10 | 8 | CC sin escobillas | 9 | 10 | 8 |

Título.: Comparación de diferentes conceptos de motores eléctricos de tracción

3.4 PREGUNTAS DE FIN DE CAPÍTULO:

1. De qué partes consta un motor de CC?
2. Cómo clasificamos los motores de CC según la conexión del devanado de excitación?
3. Cuáles son las ventajas de los motores CC?
4. Cuáles son las desventajas de los motores CC?
5. Qué significa el término asíncrono?
6. Qué significa el término síncrono?
7. Cómo se puede fabricar el rotor de los motores asíncronos?
8. Cuáles son las ventajas de un motor asíncrono frente a los motores de corriente continua?
9. Cómo se puede fabricar el rotor de los motores síncronos?
10. Qué es un motor de reluctancia?
11. Cuáles son las ventajas de los motores de reluctancia?
12. Cuáles son las ventajas de los motores sin escobillas?

4 VEHÍCULOS PROPULSADOS POR HIDRÓGENO

OBJETIVOS:

Este capítulo es solo para uso informativo para comparar los parámetros técnicos de diferentes tipos de vehículos propulsados por hidrógeno.

PALABRAS CLAVES:

repostaje, autonomía, rendimiento

Por qué utilizar vehículos propulsados por hidrógeno en lugar de utilizar únicamente vehículos eléctricos?

La gran ventaja del hidrógeno en comparación con la energía eléctrica pura es que el tiempo de repostaje de combustible es significativamente más corto.



Imagen 15 – Repostaje de hidrógeno (fuente: <https://media.daimlertruck.com/>)

4.1 EL TOYOTA MIRAI JAPONÉS ES UN COCHE IMPULSADO POR HIDRÓGENO PRODUCIDO EN MASA

El hidrógeno para impulsar automóviles se puede producir a partir de varias fuentes primarias diferentes, lo que lo convierte en una alternativa prometedora a las fuentes de energía actuales. Toyota con su sistema de pila de combustible (TFCS) combinó tecnología patentada de pila de combustible que incorpora Toyota FC Stack y tanques de hidrógeno de alta presión con tecnología híbrida. Este sistema tiene una eficiencia energética mucho mayor en comparación con los motores de combustión interna.

El tiempo de recarga de combustible en comparación con los vehículos eléctricos es mucho más corto. Se tarda alrededor de 3 minutos. Otra diferencia entre el hidrógeno y los motores de combustión interna es la ausencia de emisiones de CO₂. La calidad de conducción es comparable a la de otros automóviles.

4.1.1 RENDIMIENTO DE CONDUCCIÓN (TOYOTA NOVEMBER 2014)

| | | |
|----------|------------------|---------------------------------|
| Vehículo | Autonomía | Approx. 550 km según NEDC Cycle |
| | Velocidad máxima | 178 km/h |

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Capacidad pila de combustible | Densidad de potencia de volumen | 3.1 kW/L (nivel superior mundial) |
| | Máxima salida | 114 kW (155 DIN hp) |
| Tanque de hidrógeno de alta presión | Número de tanques | 2 |
| | Presión nominal de trabajo | 70 MPa (700 bar) |
| | Densidad de almacenamiento del tanque | 5.7 wt% (nivel superior mundial) |
| Motor | Máxima salida | 113 kW (154 DIN hp) |
| | Máximo par de fuerzas | e 335 Nm |

Dimensiones / número de plazas

| | | |
|---------------------------|-------------------|---------|
| Largo | 4890 mm | |
| Ancho | 1815 mm | |
| Altura | 1535 mm | |
| peso en vacío | 1850 mm | |
| distancia entre ejes | 2780 mm | |
| Pista (delantera/trasera) | 1535 mm / 1545 mm | |
| Distancia mínima al suelo | 130 mm | |
| dimensiones interiores | Largo | 2040 mm |
| | Ancho | 1465 mm |
| | Altura | 1185 mm |
| Número de plazas | 4 | |

4.2 OTRO COCHE IMPULSADO POR HIDRÓGENO PRODUCIDO EN MASA ES EL HYUNDAI NEXO

Hyundai se encuentra entre los primeros productores en masa de automóviles propulsados por hidrógeno. El suyo se llama NEXO y es el primer SUV propulsado por pila de combustible de hidrógeno. Hyundai logró desarrollar un automóvil con una excelente autonomía máxima de 666 km, el reabastecimiento de combustible tarda solo 5 minutos y tiene una potencia de 120 kW. Gracias a sus dimensiones compactas, el sistema de tres depósitos de hidrógeno conectados permite un mejor aprovechamiento del espacio interior. Hyundai Nexo fue desarrollado para resistir a temperaturas frías de hasta -30 °C y fue probado en condiciones adversas para garantizar su capacidad de desempeño incluso en clima invernal.

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Peso del vehículo | 1.8 toneladas |
| Pila de combustible | 135 kW |
| Velocidad | 180 km/h |
| Autonomía | 600 km |
| Frenado | sistema hidráulico |
| Tanque (capacidad de hidrógeno) | 700 bar (6.33kg) |

4.3 AUTOBUS DE HIDRÓGENO SOLARIS URBINO 12

Este autobús fue presentado en Estocolmo del 9 al 12 de junio de 2019 durante la Cumbre Mundial de Transporte Público de la UITP.

Solaris Urbino 12 Hydrogen es un autobús de cero emisiones propulsado por una pila de combustible de hidrógeno. Tiene una autonomía de 350 km y aún conserva todas las ventajas de la energía eléctrica. El autobús se caracteriza por un ruido muy bajo y la ausencia de vibraciones. El único producto creado por la reacción química en la pila de combustible de hidrógeno es el agua. El tiempo de reabastecimiento de combustible es de solo unos minutos, lo que garantiza la flexibilidad de la operación del vehículo.

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|
| Motor | eje pórtico eléctrico ZF AVE130 2x125 kW |
| Pila de combustible de hidrógeno | 70 kW |
| Baterías de tracción | lion |
| Tanque de hidrógeno | tanques compuestos 5x312 l |
| Sistema de carga | Plug-in |

4.4 AUTOBUS DE HIDRÓGENO KODA H'CITY 12

El autobús de hidrógeno del Grupo Koda tiene una autonomía de 350 km. Se caracteriza por un nivel de ruido y vibraciones extremadamente bajo, un interior cómodo y un tiempo de repostaje breve. Todo eso contribuye a una comodidad sin precedentes para los pasajeros y el conductor.

| | |
|-------------------------------------------|--------------|
| Largo | 12 020 mm |
| Ancho | 2 550 mm |
| Altura | 3 430 mm |
| Número de asientos | 26—30 |
| Número de pasajeros | hasta 85 |
| Autonomía | hasta 350 km |
| Capacidad de almacenamiento de hidrógeno | 39 g |

4.5 AUTOBUS HYUNDAI HFC

Fue desarrollado en 2018 por la empresa de transporte de visitantes y empleados de los juegos olímpicos y paralímpicos de Tokio en 2020.

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Peso del vehículo | 15 toneladas |
| Tipo de pila de combustible | 200 kW |

| | |
|--------------------------------|--------------------|
| Velocidad | 103 km/h |
| Repostaje y autonomía | 400 km |
| Frenado | Sistema hidráulico |
| Tanque (cantidad de hidrógeno) | 350 bar (40kg) |

4.6 TREN DE HIDRÓGENO DE DEUTSCHE BAHN

Siemens Mobility está desarrollando un tren de hidrógeno de nueva generación Mireo Plus H de acuerdo con la solicitud de Deutsche Bahn y se construirá en la fábrica de Krefeld. Es uno de los pasos más conscientes con el medio ambiente en la transición hacia el transporte en tren con cero emisiones. Mireo Plus H consigue autonomías de hasta 800 km. La potencia de esta locomotora está al mismo nivel que las de propulsión eléctrica. Sus principales puntos fuertes son la alta potencia de tracción de 1,7 MW, la aceleración máxima de 1,1 m/s² y la velocidad máxima de 160 km/h. La configuración del tren en tres partes tiene una autonomía de hasta 1000 km.

4.7 PREGUNTAS DE FIN DE CAPÍTULO:

- 1.Cuál es el rango de tiempos de reabastecimiento de combustible para automóviles?
2. Qué autonomía pueden tener los coches?
3. Qué presión se usa cuando se llenan automóviles y camiones propulsados por hidrógeno?