

3.5 Aplicaciones del hidrógeno

3.5.1 Introducción

El hidrógeno se usa en un gran número de aplicaciones industriales, dentro de la industria, los mayores consumidores de hidrógeno son las empresas que sintetizan amoníaco (40,3%), seguido de las refinerías de petróleo (37,3%) y las plantas de producción de metanol (10,0%). El resto está repartido en la industria farmacéutica, de alimentación, electrónica etc. Sin embargo en los últimos años ha tomado una relevancia añadida, el hecho de que el hidrógeno pueda ser el portador energético del futuro.

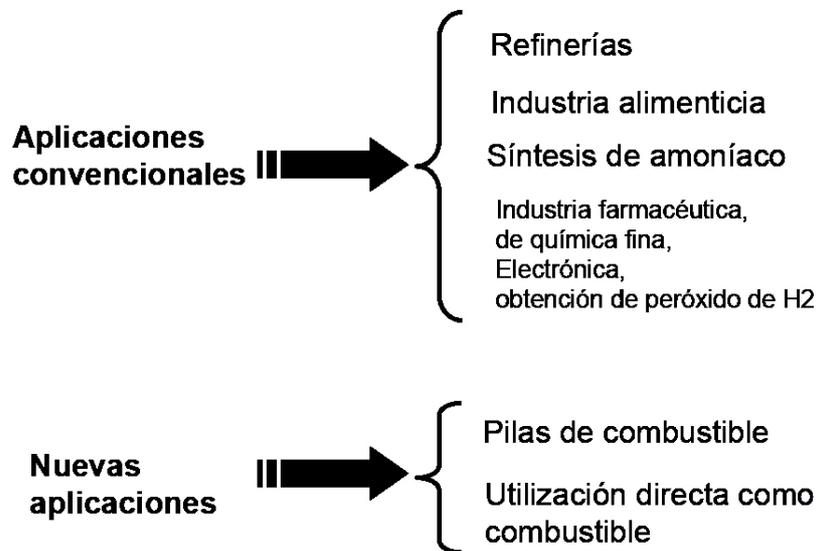
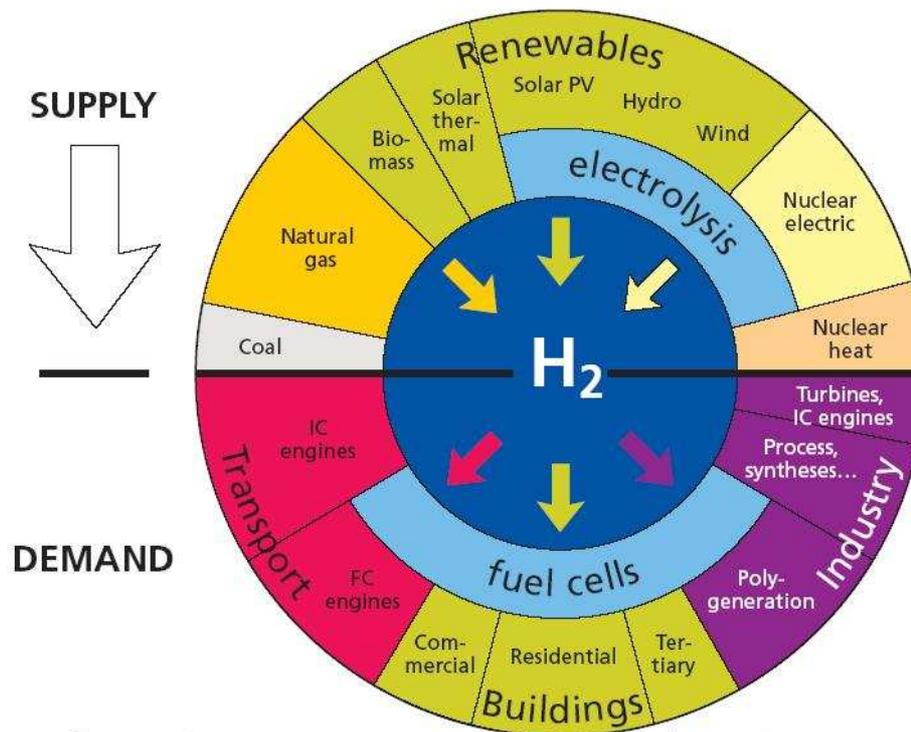


Figura 77 – Aplicaciones nuevas y convencionales del hidrógeno.

Este apartado se centrará en las “nuevas aplicaciones”. Las aplicaciones del hidrógeno son amplísimas. El hidrógeno puede servir como combustible a motores de combustión interna alternativos, a turbinas de gas y a células de combustible. Los dos primeros se aplicarían fundamentalmente a los sectores del transporte y de la industria, mientras que las células de combustible podrían cubrir además el sector de la vivienda.



Hydrogen: primary energy sources, energy converters and applications

NB: Size of "sectors" has no connection with current or expected markets.

http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/out_en.html

Figura 78 – Producción y Aplicaciones del hidrógeno.¹⁰³

En este apartado se ha hecho una clasificación atendiendo a los distintos sectores comerciales.

- Aplicaciones portátiles.
- Aplicaciones estacionarias
- Aplicaciones en el transporte.
- Aplicaciones espaciales
- Aplicaciones militares.

Las aplicaciones militares las hemos separado, al pensar que es un sector con características propias en las que prácticamente todas las aplicaciones podrían encajar, es decir las aplicaciones militares pueden ser portátiles, estacionarias, de transporte o incluso espaciales.

¹⁰³ http://europa.eu.int/comm/energy/_transport/en/cut_en.html

3.5.2 Aplicaciones portátiles

Las células de combustible fueron ideadas originalmente para el uso en plantas y vehículos. Más recientemente, los diseñadores se dieron cuenta que era posible construir unidades mucho más pequeñas. Esto ha despertado un gran interés en el desarrollo de pequeñas células de combustible. Las pequeñas células de combustible podrían reemplazar a las baterías en los equipos electrónicos portátiles, hasta 100W y a los motores de generación de combustión interna. El límite superior de los generadores portátiles está en torno a los 5kW sobretodo debido al peso de la célula de combustible.

Las células de combustible portátiles podrían proporcionar energía eléctrica con mucho más tiempo de funcionamiento que las baterías. El incremento de la electrificación del equipo personal: teléfonos móviles, radios, ordenadores portátiles, ordenadores de bolsillo, herramientas eléctricas etc., abre un rango muy amplio en diferentes aplicaciones. Las células de combustible portátiles podrían ser abastecidas con hidrógeno, o metanol o etanol. Es importante destacar que los sistemas portátiles con largo tiempo de duración son muy demandados y compiten con los altos precios de las baterías, así que este mercado podría ayudar a extender la aceptación de las células de combustible.

Tipos de células de combustible apropiadas para las aplicaciones portátiles

Las células de combustible que son apropiadas para aplicaciones portátiles son:

- a) Células de combustible de membrana polimérica que utilizan hidrógeno puro (H₂-PEMFC)
- b) Células de combustible de membrana polimérica que utilizan gases ricos en hidrógeno procedente del reformado de hidrocarburos o alcoholes (Ref-PEMFC)
- c) Células de combustible de metanol directo (DMFC)
- d) Células de combustible de alta temperatura como son las células de combustible de óxido sólido (SOFC) y las de carbonatos fundidos (MCFC) que pueden utilizar hidrocarburos directamente.

Las células de combustible de metanol directo son las unidades y dispositivos integrados más pequeños porque utilizan un combustible líquido con alta densidad energética. Las células de membrana polimérica son mejores para sistemas de alta potencia debido a su mayor densidad energética. Las aplicaciones de células de combustible pequeñas de alta temperatura están limitadas a las unidades de potencia auxiliar que son de uso frecuente.

Los generadores portátiles de PEMCF no se diferencian mucho de las PEMFC usadas en aplicaciones estacionarias y en el transporte.

Aplicaciones

Nos referimos a aplicaciones portátiles cuando las células de combustible son capaces de suministrar hasta 5kW de potencia. Sin embargo dividiremos las aplicaciones en tres grupos:

- a. Potencia inferior a 20W
- b. Potencia entre 20-100W
- c. Potencia entre 100-5000W

Las principales aplicaciones de las células de combustible de baja potencia son los teléfonos móviles, los asistentes digitales personalizados (PDA), los ordenadores portátiles, las agendas electrónicas, las cámaras, los equipos médicos, las aplicaciones militares y otros dispositivos electrónicos portátiles. En comparación con las baterías, las células de combustible pueden proporcionar mucha más potencia por unidad de volumen o peso, aunque tienen voltajes más bajos y respuestas más lentas.

a. Aplicaciones en dispositivos de hasta 20W de potencia.

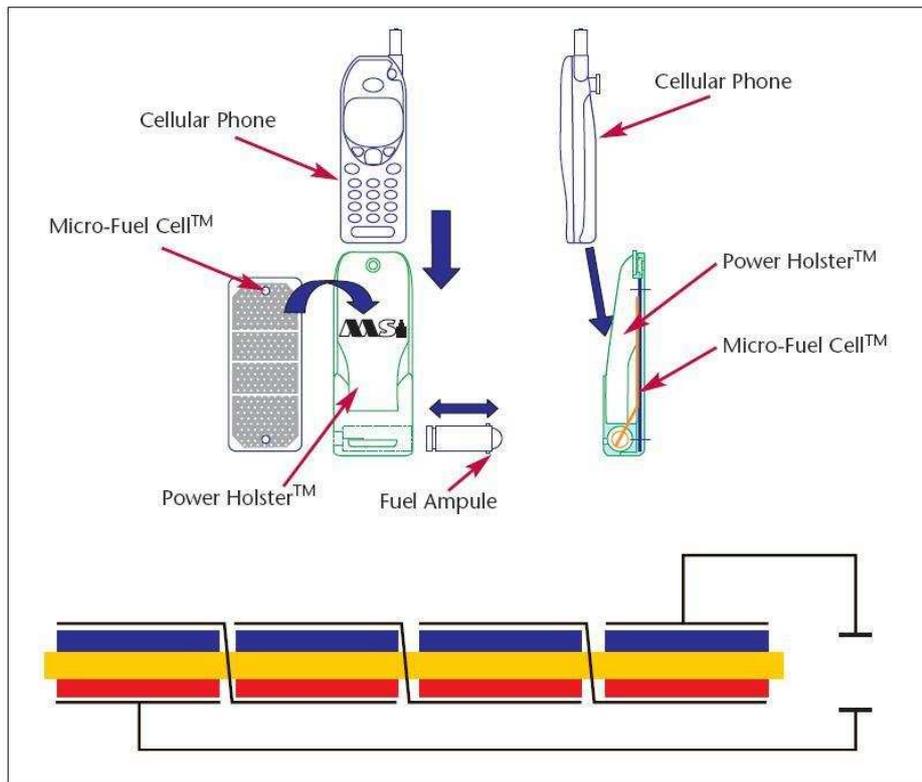
Este tipo de potencia atiende fundamental a dispositivos electrónicos que actualmente funcionan con pilas o con baterías recargables. Como pueden ser:

- Teléfonos móviles
- Teléfonos inalámbricos
- Localizadores
- Radios
- Agendas electrónicas
- Lectores de música portátiles
- Radio casetes portátiles
- Cargadores de baterías
- ...

Es evidente que para sistemas de células de combustible integradas, el volumen es más importante que la fiabilidad, el tiempo de vida o el coste. Por lo tanto es importante reducir el tamaño la pila de células de combustible, el sistema de almacenamiento de combustible y los componentes auxiliares como son válvulas,

sensores, unidades de control y separadores líquido gas. Por esta razón, el aire o el oxígeno deberían poder ser suministrados a la célula sin necesidad de forzar el movimiento del aire con, por ejemplo, ventiladores.

A continuación podemos observar cómo se puede integrar la célula de combustible y el almacenamiento de combustible en un teléfono móvil.



Fuente: Manhattan Scientifics

Figura 79 – Esquema de un teléfono móvil con pila de combustible.

Otra posibilidad sería la de mantener el teléfono móvil con su batería y hacer un cargador de la misma. En la figura se observa un cargador de célula de combustible de metanol directo. El metanol, al ser líquido resulta más sencillo de almacenar, y muchos dispositivos de baja potencia optan por él en lugar del hidrógeno.



Portable DMFC

Fuente: Toshiba

b. Aplicaciones en dispositivos con potencias entre 20-100W

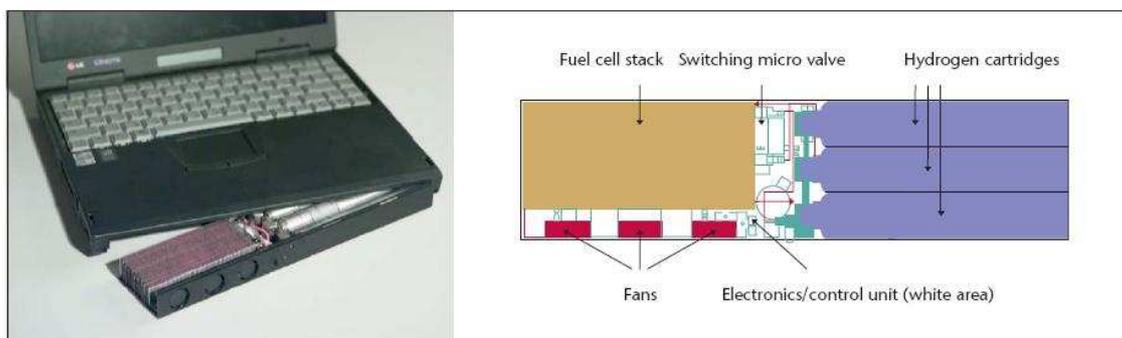
En estas aplicaciones también el peso, el volumen y el tiempo de funcionamiento son factores muy importantes. Entre los dispositivos podemos encontrar:

- Ordenadores portátiles.
- Herramientas inalámbricas.
- Videocámaras.
- Cámaras digitales.
- Juguetes.
- ...

Aquí, las células de combustible tienen peores eficiencias eléctricas, alrededor del 50%, que las baterías a las que sustituirían, en torno al 80%. Debido que toda la energía que no es convertida en electricidad acaba convirtiéndose en calor, las células de combustible en este rango de potencia podrían sufrir un sobrecalentamiento. Solucionar el problema del exceso de calor, requiere un inteligente diseño térmico. Los hidruros metálicos necesitan calor para liberar el hidrógeno almacenado, así que el calor liberado podría ser capturado y utilizado para este fin. Otra importante vía de investigación y desarrollo en los sistemas de células de combustibles es la seguridad y la gestión de los efluentes.

Es importante, para el buen lanzamiento al mercado de estos productos que los cartuchos de recambios de combustible se estandarizaricen.

En la siguiente imagen se puede observar un ordenador portátil de célula de combustible de hidrógeno.



A notebook computer (LG CiNOTE 7400) with an integrated H₂-PEMFC system (LG; ISE Freiburg).

Fuente: www.risoe.dk/rispub/energy_report31/ris-r-1469_summary.pdf

Figura 80 – Ordenador portátil con una PEMFC.

c. Aplicaciones en dispositivos de potencia entre 500 y 5000W.

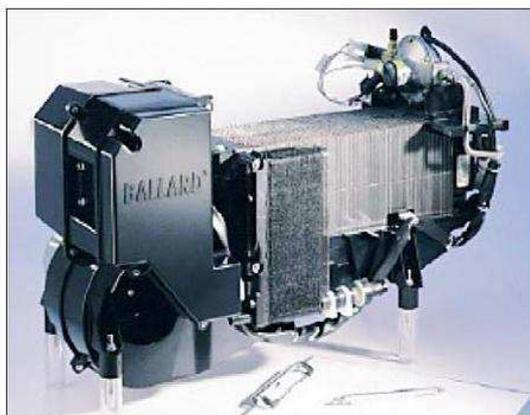
Las aplicaciones de las células de combustible hasta 5kW incluyen:

- Generadores portátiles.
- Unidades auxiliares de potencia.
- Herramientas inalámbricas.
- Vehículos ligeros (carritos).
- Cortacéspedes.
- ...

Los generadores de potencia y las unidades auxiliares de potencia en el rango de los 500-5000W podrían entrar rápidamente en el mercado, ya que tanto el coste como la vida media es menos importante que en aplicaciones más grandes.

Las unidades de menos potencia utilizan principalmente DMFC, mientras que las de mayor utilizan PEMFC.

La siguiente figura muestra un ejemplo de módulo de célula de combustible de alta potencia.



NEXA™ 1.2-kW H₂-PEMFC module (Ballard Power Systems).

Performance	Rated net output	1200 W
	Current	46 A
	DC voltage	26 V
	Operating lifetime	1500 hours
Fuel	Composition	99.99% dry H ₂
Operating environment	Ambient temperature	3-30°C
	Relative humidity	0-95% RH
Physical	Length x width x height	56 x 25 x 33 cm
	Weight	13 kg

Table 12: Operating data for the Ballard NEXA™.

Fuente: www.risoe.dk/risepubl/energy_report3/ris-r-1469_summary.pdf

Figura 81 – Generador de 1.2kW de PEMFC

Ventajas de las células de combustible en las aplicaciones portátiles:

- Como sustitutos de las baterías, las células de combustible pueden incrementar el tiempo de funcionamiento.
- Como generadores portátiles, eliminan el ruido y las emisiones características de los motores de combustión interna.

- Tienen precios comparables a los dispositivos que sustituyen.

Las aplicaciones portátiles de células de combustible tienen la ventaja que el coste por kilovatio es mucho menos importante que en las aplicaciones estacionarias y de transporte. Normalmente se necesita que tengan una vida media del orden de las 2000 horas. Esto hace que sean más apropiadas para la rápida introducción en el mercado.

Es evidente que para estas aplicaciones de bajo consumo de energía, el potencial de reducción de los gases de efecto invernadero es baja, comparada con las aplicaciones estacionarias o de transporte. Sin embargo, existe un gran alcance de innovación en esta área.

Desventajas:

Tienen problemas de fiabilidad, vida media, volumen y peso. Además tanto el combustible puede resultar peligroso.

3.5.3 Aplicaciones Estacionarias

A pesar de que la atención actual en el hidrógeno y en las pilas de combustible está centrada en su uso en vehículos, la mayoría de las células que están actualmente en uso lo hacen en aplicaciones estacionarias.¹⁰⁴ Se pueden cosechar importantes mejoras de eficiencias y reducción de emisiones al utilizar las células de combustibles en la generación de electricidad estacionaria, tanto en grandes plantas como en uso doméstico, combinando la generación de calor y electricidad en los edificios.

Las aplicaciones estacionarias cubren un amplio rango de actividades. Las pequeñas unidades pueden proporcionar electricidad, calor y agua caliente a casas individuales (≤ 10 kW) o para un bloque de viviendas (100-300kW). La generación de electricidad centralizada se prevé que tenga potencias muchos megavatios.

Las células de combustible estacionarias permiten una alta eficiencia, bajas emisiones y generación de energía en un amplio rango de tamaños. Existen distintos tipos de células de combustible estacionarias, que utilizan distintos materiales y funcionan a distintas temperaturas, desde 60°C hasta 1000°C. Pueden ser utilizadas en

¹⁰⁴ CAN Europe

sistemas descentralizados para suministrar energía, agua caliente y calor, incluso en unidades domésticas muy pequeñas.

Un gran número de células de combustible estacionarias están siendo probadas tanto en casas individuales como en grandes aplicaciones como un hospital. En los Estados Unidos, las células de combustible están siendo utilizadas para suministrar energía a las bases militares.

Aplicaciones

Podemos dividir las células de combustible estacionarias en dos grupos:

- a. Las células de combustible estacionarias pequeñas, que serían las que generarían electricidad de forma distribuida.
- b. Las grandes células de combustible estacionarias, que generarían de forma centralizada. Y por tanto serían de mayor tamaño.

a. Pequeñas células estacionarias

Actualmente, hay alrededor de ochenta compañías en activo en el desarrollo de pequeñas células de combustible estacionarias en todo el mundo. De estas algunas ya han empezado a vender unidades abiertamente, mientras que otras han anunciado planes de introducir sus primeros productos comerciales en los próximos dos a tres años.

Se estima que se han construido alrededor de 1900 pequeñas células estacionarias que están funcionando en todo el mundo. Este número incluye sistemas instalados en hogares domésticos y unidades en el rango de 0.5-10kW que están funcionando en otras aplicaciones estacionarias pequeñas, como son generadores de emergencia en comercios y en localizaciones remotas.

Los dos principales problemas son que los precios son todavía muy altos como para ser competitivos, y que el tiempo de vida es muy corto. Está comúnmente aceptado que un sistema doméstico debería funcionar unas 40000 horas (o cinco años) sin ningún mantenimiento, incluyendo esto el cambio de la pila. Sin embargo muy pocas compañías han demostrado sistemas de más de 10000 horas.

El mercado de generadores de emergencia parece atractivo, ya que existe una demanda de generadores fiables por una serie de compañías, como pueden ser bancos, o compañías de telecomunicaciones, donde un corte energético puede suponer pérdidas de hasta seis millones de dólares la hora o incluso más. En estas situaciones, los

generadores de emergencia sólo tendrían que funcionar de forma intermitente, siendo ahora la vida media menos importante.



Range of residential systems being tested
by the Japan Gas Association (Source: Japan Gas Association)

Figura 82 - Pilas de combustible estacionarias

La mayoría de los fabricantes de pequeñas células estacionarias con alta potencia a la salida han pronosticado la salida al mercado de estas células dentro 5 a 15 años. La mayoría de los estudios concluyen que las células de combustible estacionarias tendrán éxito a medio o largo plazo. La mayoría de los fabricantes tienen planes de lanzar sus primeros modelos al mercado antes de 2006.

Hoy en día, hay alrededor de ochenta compañías que han producido células de combustible estacionarias pequeñas. Sin embargo, alrededor de dos tercios sistemas instalados han sido construidos solo por seis fabricantes, entre los que se incluyen: Avista Labs, H Power, Nippon Oil, Plug Power, Sanyo Electric y Sulzer Hexis.

b. Grandes células estacionarias.

A mediados de 2003 se estimaba que habían construido y estaban en operación alrededor de 650 células de combustible estacionarias de grandes dimensiones en todo el mundo. Este número incluía unidades estacionarias mayores de 10kW, aunque la media estaba cercana a los 200kW. Por ejemplo la menor célula de combustible de carbonatos fundidos analizada era de 250kW, mientras que la mayor célula de

combustible analizada era una célula de combustible de ácido fosfórico con 11MW, fabricada por Toshiba y UTC Fuel Cells.

Las primeras unidades comerciales se basaban en la tecnología del ácido fosfórico. Las mejoras tecnológicas se han extendido, pero la naturaleza del mercado necesita alta fiabilidad y larga duración, cuestiones que pueden llevar tiempo en probar, aunque se están haciendo grandes progresos.



Fuente: General Motors

Figura 83 – Generación centralizada con pilas de combustible.



Siemens Westinghouse tubular solid oxide fuel cell

Fuente: DOE

Figura 84 – Pila de Combustible tipo SOFC.

La tecnología elegida para las aplicaciones de las células de combustible estacionarias. Diferentes compañías eligen diferentes tecnologías, por ejemplo:

- Las células de combustible de ácido fosfórico son elegidas por UTC y Fuji Electric.
- Las células de combustible de carbonatos fundido son elegidas por FuelCell Energy y MTU CFC Solutions.
- Las células de combustible poliméricas por General Motors.
- Las células de óxidos sólidos por Siemens Westinghouse, Mitsubishi Heavy Industries, Nippon Steel y Rolls Royce.

Pero tal y como se observa en la gráfica siguiente, las células de combustible de ácido fosfórico y de carbonatos fundidos son las predominantes.

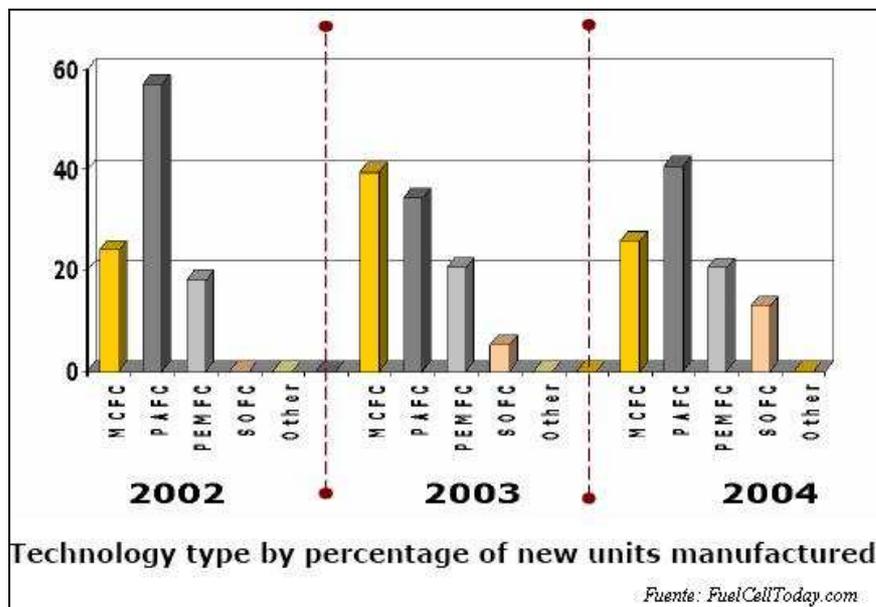


Figura 85 – Evolución del uso de las pilas de combustible en aplicaciones estacionarias.

En la elección del combustible, la mayoría de las células de combustible utilizan gas natural, seguido del hidrógeno y del biogás.

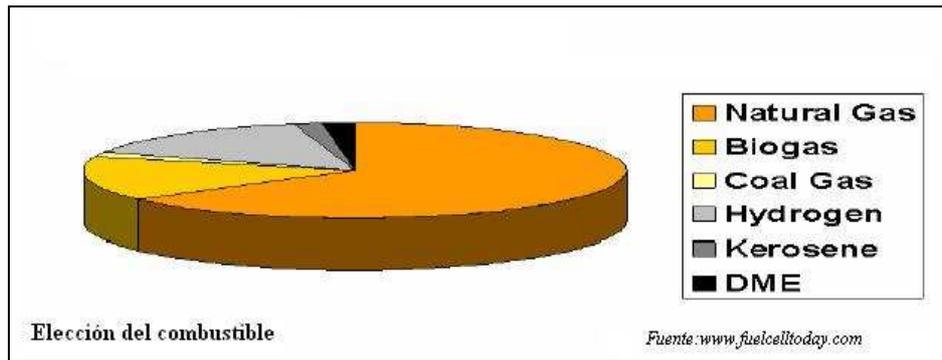


Figura 86 – Combustibles utilizados en las pilas de combustible estacionarias.

Ventajas de las células de combustible estacionarias

- Pueden suministrar a la vez electricidad, agua caliente y calor, incluso en unidades domésticas muy pequeñas.
- Las células de combustible utilizadas en el transporte también pueden ser utilizadas en algunos sistemas estacionarios.
- Tienen alta eficiencia.
- Al tener bajas emisiones sonoras y contaminantes, pueden ser instaladas en áreas sensibles.

Inconvenientes de las células de combustible estacionarias

- Se necesita más investigación y desarrollo para que sean competitivas económicamente.
- Se necesita mejora en los procesos de fabricación.
- Necesario alargar los periodos de vida.
- Necesario reducir el coste de los sistemas.
- Necesario mejorar la fiabilidad de los sistemas.

3.5.4 Aplicaciones en el Transporte

Una de las principales razones por las que hay que mirar seriamente al hidrógeno como portador de energía es porque puede abastecer directamente a los vehículos de carretera, a locomotoras, a barcos y a aviones. Por otro lado, el hidrógeno puede ser el

combustible dominante en los vehículos eléctricos impulsados por células de combustible, haciendo posible un transporte silencioso.

El hidrógeno puede ser utilizado para impulsar vehículos por medio de motores de combustión interna, células de combustible y turbinas de gas. Las células de combustible tienen unas eficiencias de conversión energética mayores, que los motores de combustión interna, además no tienen partes móviles y en el escape solo producen agua, de ahí su importancia en las aplicaciones en el sector del transporte. Sin embargo la tecnología de los motores de combustión interna está bien establecida y es bastante fácil convertirlos desde los combustibles líquidos convencionales al hidrógeno. Por eso algunos fabricantes están trabajando en la modificación de los motores de combustión interna para que puedan funcionar con hidrógeno.

La mayoría de las turbinas de gas de hoy en día son demasiado grandes para que puedan ser utilizadas en los vehículos. Sin embargo, los departamentos de investigación y desarrollo de países como Alemania y Estados Unidos intentan desarrollar pequeñas turbinas de gas para hidrógeno apropiadas para los vehículos de carretera.

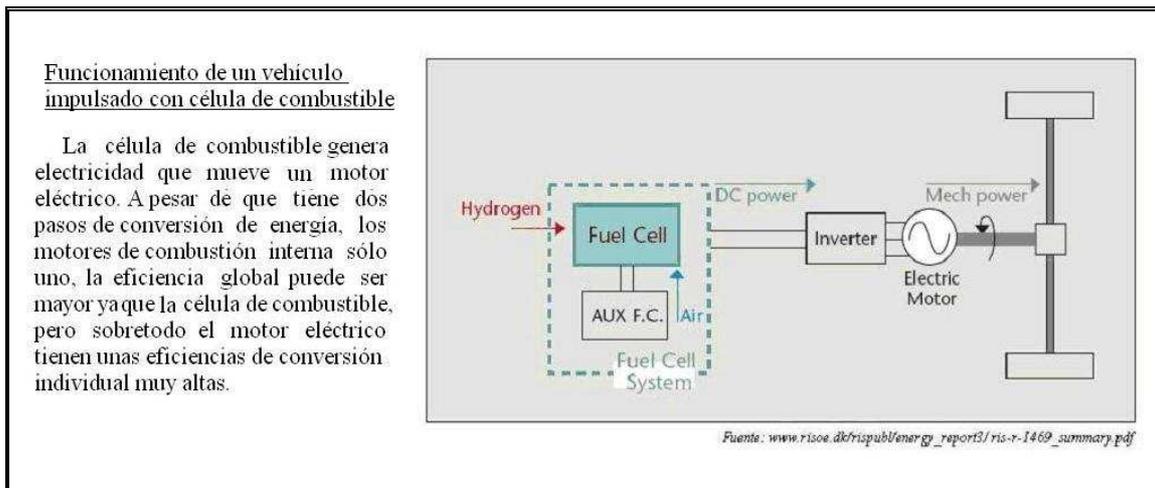
El uso más avanzado del hidrógeno en el sector del transporte es en los vehículos de motor, especialmente los coches. Esta es la razón por la cual los fabricantes de automóviles de todo el mundo están invirtiendo grandes sumas de dinero en la investigación del hidrógeno. Aunque los vehículos de células de combustible todavía no son rentables, en la mayoría de los países industrializados se están llevando a cabo esfuerzos de financiación de proyectos de demostración de por ejemplo en autobuses con emisiones nulas. Además, muchos de los mayores fabricantes de vehículos del mundo han presentado prototipos de vehículos de células de combustible, e incluso han empezado a alquilar pequeños números de estos vehículos a algunos clientes seleccionados.



Fuente: revista "Mundo Científico"

Aunque los prototipos de vehículos de células de combustible todavía no pueden todavía alcanzar en prestaciones a los vehículos de diesel o gasolina convencionales, tienen mucho mayor alcance que los vehículos de baterías. Las células de combustible superan mejor los problemas de autonomía asociados a los vehículos eléctricos tradicionales que usan acumuladores para almacenar la electricidad. Ya que el medio de almacenamiento químico como el hidrógeno tiene mayor densidad energética que los acumuladores. Además se pueden recargar en pocos minutos, mientras que recargar una batería de un vehículo requiere horas.

Por otro lado, las células de combustible pueden suministrar una fuente de energía eléctrica a bordo, una unidad auxiliar de potencia, en los coches convencionales o en los camiones, habilitando un uso más limpio y eficiente que la propulsión con motores de combustión, sobretodo si el tráfico está congestionado. También pueden proporcionar energía eléctrica a bordo de los barcos, e incluso propulsión, especialmente en aquellas zonas sensibles donde sólo se permiten barcos de bajas emisiones.



La principal barrera tecnológica para el desarrollo del hidrógeno en el sector del transporte es el almacenamiento del hidrógeno. La baja densidad del hidrógeno dificulta el almacenamiento de suficiente cantidad de hidrógeno a bordo, como para permitir una autonomía suficiente sin que el contenedor de hidrógeno sea demasiado grande o demasiado pesado.

En la siguiente tabla y gráfica se comparan distintas formas de almacenar hidrógeno. La masa de hidrógeno almacenado sería de algo menos de cinco kilogramos, sin embargo el peso del tanque sería de hasta veinticinco veces más en el caso de almacenamiento como metal hidruro o de trece veces más en el caso del hidrógeno comprimido. El volumen que ocupa el almacenamiento del hidrógeno también es muy importante. En el dibujo se observa la relación con un turismo de gama media. En relación con el alcance que aparece en la tabla, se debe entender de forma orientativa ya que esto dependería del modelo y marca del vehículo, del tipo de propulsión de la velocidad entre otros.

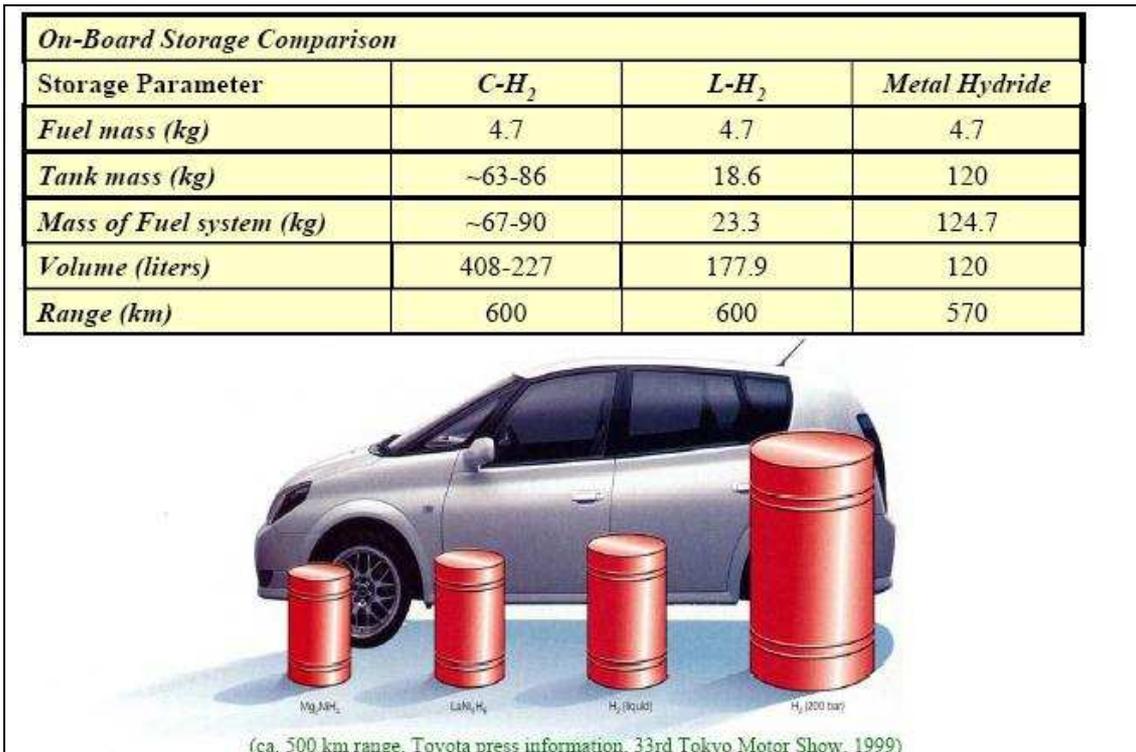


Figura 87 – Comparación en volumen y peso los distintos tipos de almacenamiento

A continuación se puede observar la posible disposición de los distintos elementos de un sistema de un vehículo impulsado por una célula de combustible.

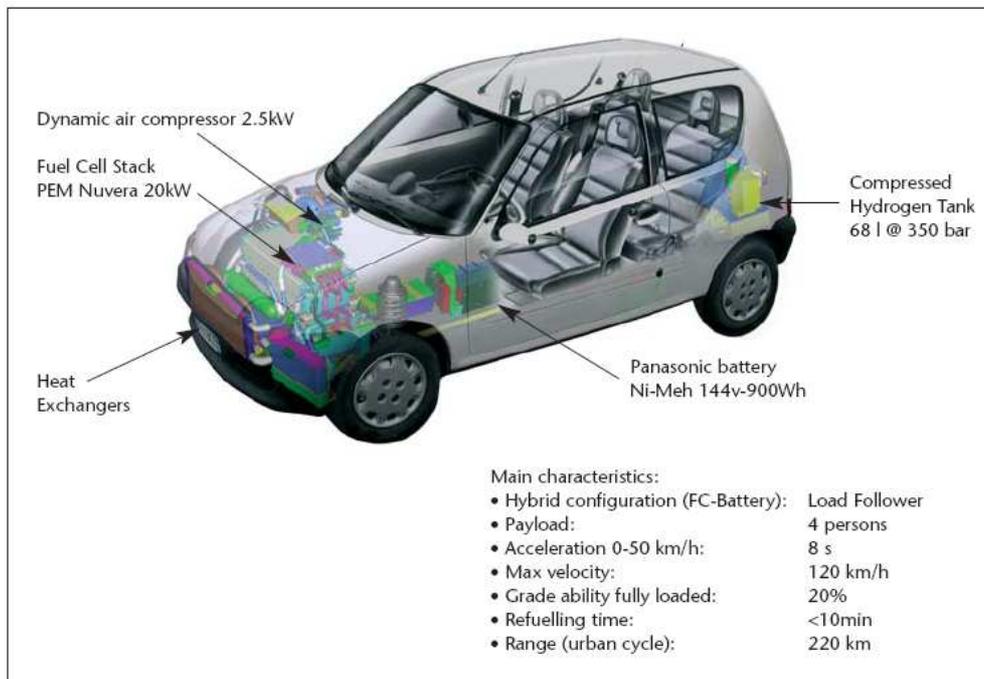


Figura 88 – Esquema de un vehículo de pila de combustible.

Por otro lado está el tema de las emisiones. Los fabricantes de automóviles se tienen que enfrentar cada vez a más restricciones en las emisiones contaminantes. Refinamientos en la tecnología de los motores convencionales podrán, probablemente, ajustarse a las restricciones en contaminantes como el NO_x y los hidrocarburos inquemados, sin embargo, las restricciones sobre las emisiones de CO_2 necesitan de mejoras en los combustibles que son más difíciles de solventar, ya que en los combustibles convencionales una cantidad dada de energía está asociada a una cantidad fija de CO_2 . La solución puede que sea el uso de motores de combustión interna con hidrógeno, o células de combustible. Los motores de combustión interna que funcionan con hidrógeno emiten NO_x , pero el combustible al no tener carbono, el escape no contiene ni CO_2 ni hidrocarburos inquemados.

Dos recientes estudios, uno europeo y otro norteamericano, analizan el uso energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) para un amplio rango de combustibles.¹⁰⁵ En dichos informes se diferencia entre las distintas formas de producir hidrógeno. En las siguientes gráficas sólo se refleja la producción como reformado de gas natural y por la electrolisis del agua, con algunas variaciones como que la producción sea centralizada o distribuida, y la producción de energía eléctrica sea fruto de una mezcla de las distintas formas convencionales o provenga de la energía eólica. Y lo compara con la gasolina convencional, con el diesel y con los vehículos eléctricos híbridos.

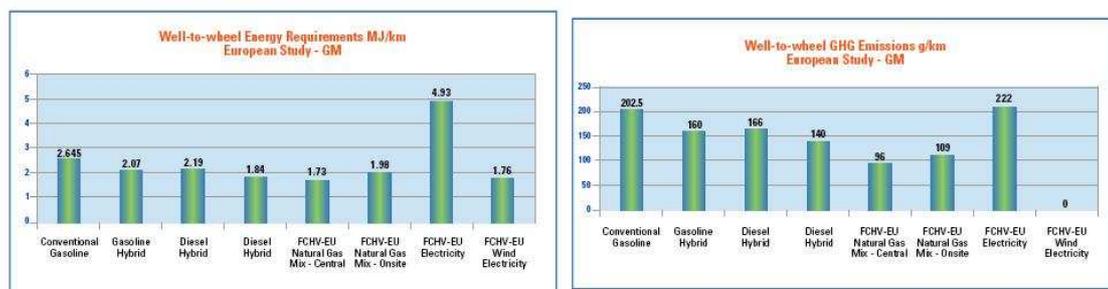


Figura 89 – Análisis de las emisiones y de las necesidades energéticas para vehículos dependiendo el combustible que utilicen. (Estudio Europeo)

El estudio europeo concluye que, con excepción de las energías renovables, los vehículos híbridos de células de combustible (FCHV, fuel cell hybrid vehicles) que usan hidrógeno comprimido reformado del gas natural, tienen las menores emisiones de

¹⁰⁵ Los dos estudios son: “Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study,” by General Motors, Ludwig Bolkow Systemtechnik, BP, ExxonMobil, Shell, and TotalFinaElf, May 2002; y “Well-to-Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – North American Analysis,” by General Motors, Argonne National Laboratory, BO, ExxonMobil, and Shell, June 2001.

efecto invernadero en una base del pozo a la rueda. Éstos también son los que menos cantidad de energía necesitan, prácticamente empatados con los vehículos híbridos de célula de combustible que utilizan un hidrógeno producido por electrolisis con energía renovable del viento. Las emisiones de efecto invernadero del hidrógeno producido por la energía del viento son nulas. Los vehículos híbridos de células de combustible que utilizan hidrógeno producido a partir de la electrolisis de la actual mezcla de energías convencionales utilizan mucha energía y emiten muchos gases de efecto invernadero, debido a que se utiliza el carbón y otros combustibles fósiles para la producción de energía.

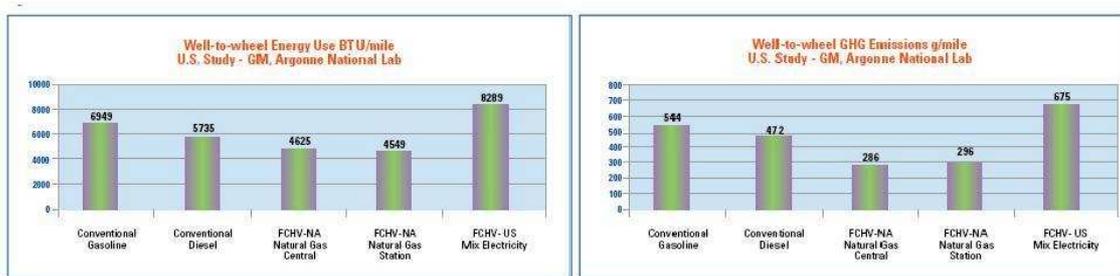


Figura 90– Análisis de las emisiones y de las necesidades energéticas para vehículos dependiendo el combustible que utilicen. (Estudio Norteamericano)

Igualmente, el estudio norteamericano, muestra que los vehículos de células de combustible que utilizan hidrógeno comprimido reformado del gas natural tienen menor utilización de energía que los vehículos convencionales de gasolina o diesel. Al igual, son los que tienen las menores emisiones de efecto invernadero. Los vehículos híbridos de célula de combustible que utilizan el hidrógeno producido por vía electrolisis con el pool energético actual de los Estados Unidos, tienen grandes consumos de energía y altas emisiones de gases de efecto invernadero, debido, del mismo modo que ocurría en el estudio europeo, que la energía eléctrica procede del carbón y de otras fuentes fósiles. El estudio norteamericano no analizó el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables.

Con esto lo que se demuestra, no es que sea más limpio la producción vía reformado de gas natural que la electrolisis, sino que actualmente la energía eléctrica que se produce de forma mayoritaria procede de fuentes fósiles, es decir, de grandes contaminantes, y como la electrolisis requiere del gasto de una gran cantidad de energía, hace que el proceso global, tenga mayores emisiones que los combustibles tradicionales de transporte. Tal y como vimos en el apartado de producción del hidrógeno. La utilización de la electrolisis sólo se justifica si la electricidad necesaria se obtiene a partir de energías renovables.

Ventajas del uso del hidrógeno en el sector del transporte

- Los motores de combustión interna alternativos convencionales con ligeras modificaciones pueden funcionar con hidrógeno.
- El hidrógeno puede ser producido en el hogar, a partir de la generación distribuida.
- Aunque actualmente la infraestructura de hidrogeneras es prácticamente inexistente, en el futuro, el hidrógeno puede representar más seguridad energética que los combustibles fósiles, debido a la no dependencia entre países.

Ventajas concretas de los vehículos de células de combustible que funcionan con hidrógeno:

- Han demostrado tener unas eficiencias mayores que los coches de combustión interna alternativos que funcionan con gasolina o diesel.
- Tienen emisiones nulas de CO₂ o de gases de efecto invernadero*, sólo emiten H₂O.
- Tienen una alta aceleración.
- Tienen una conducción muy suave y refinada.
- Al contrario de los motores de combustión interna alternativos, la célula de combustible es muy silenciosa.
- Pueden proporcionar electricidad a bordo con alta eficiencia.
- Podrían producir electricidad para las casas, oficinas y localizaciones remotas.

Inconvenientes del uso del hidrógeno en el sector del transporte.

- Problemas con el almacenamiento del hidrógeno.
- Coste elevado de las pilas de combustible.
- Coste elevado del resto de dispositivos necesarios en el sistema.
- Necesario mejorar las prestaciones a temperaturas bajo cero.
- Necesario mejorar la tolerancia en las pilas de combustible al monóxido de carbono y a otros contaminantes presentes en el hidrógeno procedente de combustibles fósiles o de la biomasa.
- Necesario demostrar la durabilidad de los componentes individuales del sistema completo de propulsión.

* El vapor de agua también puede producir efecto invernadero.

3.5.5 Aplicaciones Espaciales

El transporte aeroespacial es actualmente el mayor consumidor de hidrógeno líquido. Durante años, se ha usado el hidrógeno líquido, en combinación con el oxígeno líquido, como combustible de alta energía. La ventaja principal es el alto impulso específico que tiene la combinación hidrógeno-oxígeno.** Esto unido al bajo peso molecular y a la alta temperatura de llama, hacen del hidrógeno el mejor combustible líquido para los cohetes.

El hidrógeno líquido fue utilizado como combustible de los cohetes lunares Apolo segundo y tercero. El hidrógeno también se ha utilizado para la flota actual de – “Space Shuttles”, cuyos tres motores principales montados en la cola se abastecieron con un tanque de almacenamiento de combustible que contenía hidrógeno y oxígeno líquido.

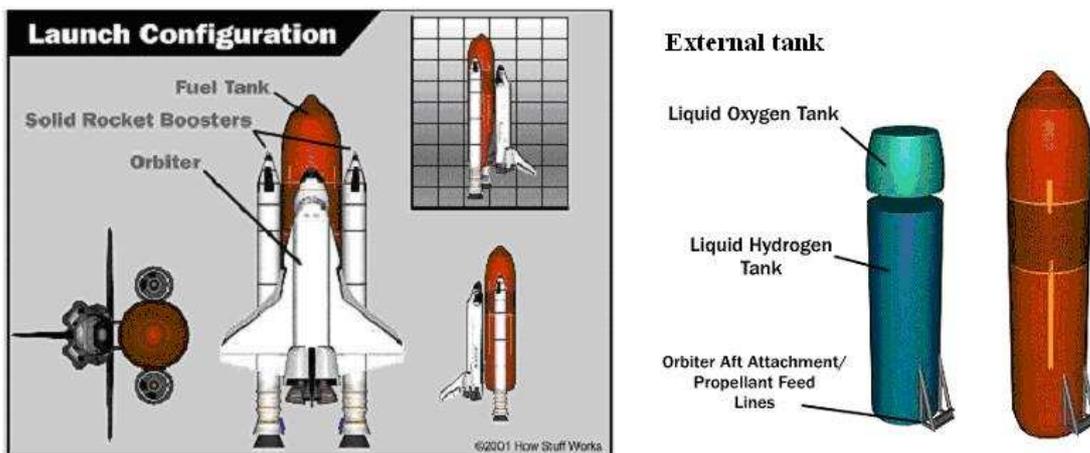


Figura 91 – Esquema de un Space Shuttle.

Los cohetes necesitan llevar el combustible y el oxidante.

** El impulso específico es el empuje dividido entre el flujo másico de los gases de escape multiplicado por la aceleración de la gravedad.



Figura 92 – Lanzamiento de un Spac Shuttle.

Las ventajas que encontraron los ingenieros en el uso del hidrógeno como combustible de las aeronaves fueron las siguientes:¹⁰⁶

- Mejores características de eficiencia y seguridad.
- Minimizar la contaminación.
- Ser más ligero y silencioso.
- Necesita menor superficie de alas y menores espacios de despegue.
- Debido a la ausencia de carbón en el combustible, se reducían los costes de operación y mantenimiento de los ingenieros.
- El ruido del despegue se reducía un tercio.

3.5.6 Aplicaciones Militares

El bombardero B-57 de las fuerzas armadas de los Estados Unidos fue el primer avión que se modificó para que usara hidrógeno líquido como combustible. La modificación fue llevada a cabo por la NASA en 1956.

¹⁰⁶ www.braunforpresident.us/headlines/policy_briefs/pbpdf/HydrodgenFueledAircraft.pdf



A U.S. Air Force Liquid Hydrogen-Fueled B-57 Bomber
NASA modified this military aircraft in 1956 to use liquid hydrogen fuel.

Figura 93 – Bombardero B-57

La NASA es el primer consumidor de hidrógeno del mundo. Los departamentos de defensa están invirtiendo en la investigación y desarrollo del hidrógeno como combustible. Teniendo en cuenta que en Estados Unidos el ejército es el mayor consumidor de petróleo, se hace necesario, sobretodo en este sector, no depender de un recurso externo a su país.



Fig. 10: Medis/General Dynamics fuel cell PDA.
Source: Medis

Las células de combustible podrían ayudar a reducir el coste de la logística en el campo de batalla, proporcionando una fuente de energía a los soldados modernos, ahorrando dinero y reduciendo la contaminación en las instalaciones militares, en los buques y en los vehículos terrestres, y sobretodo

reducir el revelador ruido.

Más del 70% del tonelaje requerido para posicionar al ejército de los Estados Unidos en el campo de batalla es combustible.¹⁰⁷

Las células de combustible tienen un amplio potencial en las aplicaciones de defensa, ya que proveen de un sistema de generación de energía silencioso, en lugar de los generadores diesel, como generadores de energía para los tanques o produciendo altos niveles de energía en los avanzados uniformes de los soldados. El



Fig. 15: 150W military Portapak. Source: Voller Energy.

mercado de defensa es menos sensible al coste que los mercados privados, y puede proporcionar una excelente oportunidad para el desarrollo de la tecnología.

¹⁰⁷ *More Capable Warfighting Through Reduced Fuel Burden*
www.acq.osd.mil/dsb/reports/fuel.pdf

