

Aplicación del Hidrógeno al Sector Transporte

Reporte de Inteligencia Tecnológica

Dirección de Desarrollo Tecnológico - Gerencia de Capacidades Tecnológicas

Contenido

CONTEXTO	2
APLICACIONES ACTUALES DE H2 EN TRANSPORTE	4
1. CIRCUITOS CERRADOS	4
2. POTENCIA NECESARIA	5
3. TALLERES Y ESTACIONES DE REABASTECIMIENTO	5
3.1 TALLERES	5
3.2 ESTACIONES DE REABASTECIMIENTO	6
3.3 SOLUCIONES COMERCIALES	7
4. INFRAESTRUCTURA PARA EL USO DE HIDRÓGENO – RENDIMIENTO Y COSTO OPERACIONAL	7
4.1 EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO	8
4.2 DISPONIBILIDAD DE LAS ESTACIONES	8
4.3 COSTO OPERACIONAL ESPECÍFICO (OPEX)	8
ANÁLISIS DE PATENTES COMBUSTIÓN DUAL	9
1. METODOLOGÍA	10
2. REVISIÓN DE PATENTES	10
3. RESULTADOS	13
FUENTES	15
ANEXOS	17
ANEXO 1 – USOS EN EL ÁMBITO DE LA MOVILIDAD	17
ANEXO 2 – RANGOS DE POTENCIA	26
ANEXO 3 – ELECTROLIZADORES Y ESTACIONES DE REABASTECIMIENTO, INFORMACIÓN TÉCNICA Y OFERTA	28

Contexto

Debido a la gran dependencia de la sociedad actual al petróleo y a otros combustibles fósiles para todo tipo de productos y al consumo a gran escala de estos como combustible principal para transporte y generación de electricidad, se han producido graves alteraciones en el medio ambiente e incluso en la economía mundial. A causa de estos efectos sobre el medio ambiente y el cada vez más cercano agotamiento del petróleo, se hace necesario que tanto científicos como ingenieros investiguen nuevas fuentes de energías renovables y alternativas. Una de ellas es el hidrógeno que, aunque aún está en fase de desarrollo, parece ser uno de los vectores energéticos del futuro. Entre sus principales ventajas está su gran abundancia en el planeta, siempre combinado con otros elementos, que evitaría o reduciría en gran medida la dependencia del petróleo¹.

Actualmente existen abundantes proveedores de tecnologías que permiten producir hidrógeno a partir de diversos tipos de materias primas como el agua, la biomasa o los recursos fósiles y con un aporte de energía que puede provenir de combustibles convencionales, o fuentes renovables, tal como se muestra en la Fig. 1.

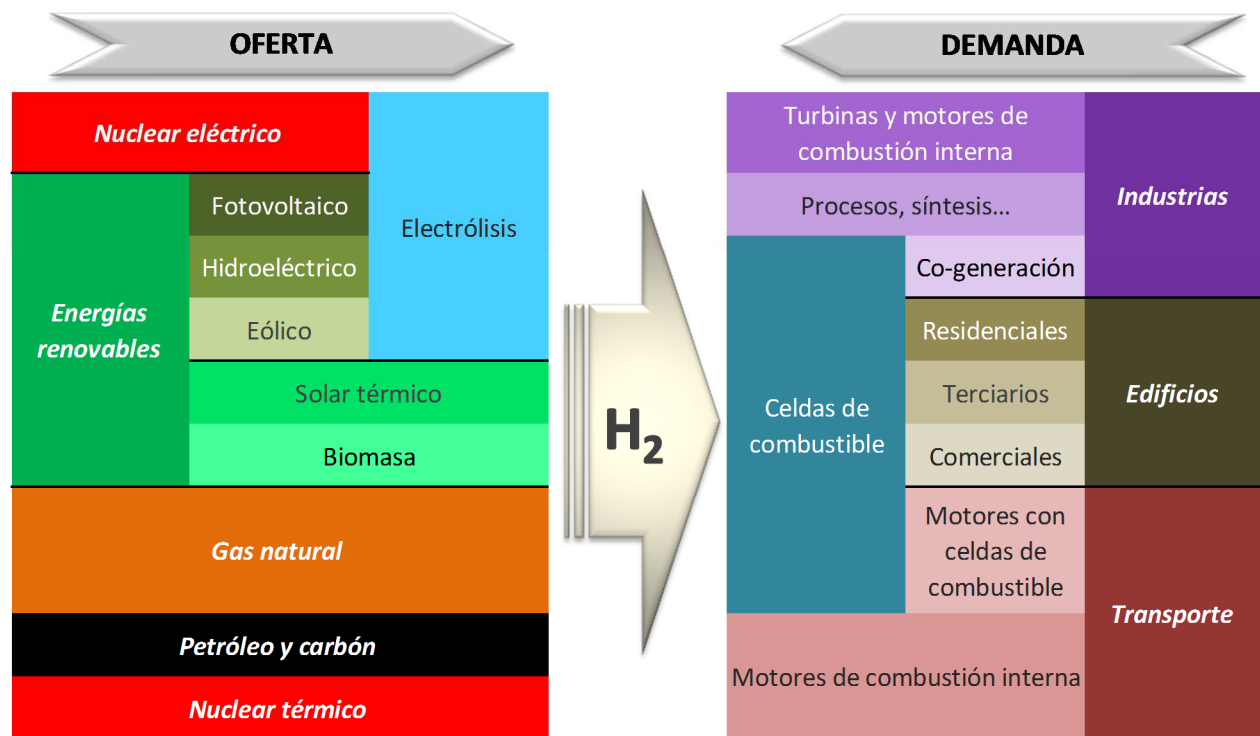


Fig. 1. Cadena del hidrógeno, desde la oferta hacia la demanda, desde la fuente de energía -incluyendo no renovable- hasta el uso. Elaboración propia en base a AFHyPAC².

¹ Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de co2: Algunos posibles escenarios futuros De emisiones - Stéphane Salaet Fernández / Jordi Roca Jusmet. Universidad de Barcelona 2010

² <http://www.afhypac.org>, asociación francesa para el hidrógeno y las pilas de combustible

Según la comisión de energía de California³, se esperan unas 70 estaciones de reabastecimiento de hidrógeno operando en el año 2020 en el estado de California, lo que según la misma comisión sería suficiente para sostener un mercado exitoso de vehículos con celdas de combustible⁴. En Japón, país que va a acoger los juegos olímpicos de verano 2020, el gobierno quiere aumentar significativamente la capacidad actual de reabastecimiento que cuenta con unas 80 estaciones. En Europa, hay unas pocas decenas de estaciones operando. Sin embargo el programa *Hydrogen Mobility Europe*⁵, que representa una inversión de 170 millones de euro, con la participación de una parte de la industria automotriz europea y de la comisión europea, quiere aumentar esa capacidad reforzando también la cantidad de vehículos con celdas de combustible en las carreteras. En la edición 2017 del foro económico mundial de Davos en Suiza fue lanzada una iniciativa global por parte de 13 compañías líderes en los sectores de la energía, del transporte y de la industria, que plantea una visión única de largo plazo para fomentar la transición energética hacia el hidrógeno. Este “Consejo del hidrógeno” para el desarrollo y la comercialización del hidrógeno y celdas de combustible está compuesto por **Total** y **Shell** (petroquímica y gas natural), **Air Liquide** y **Linde Group** (gases industriales), **Alstom** y **Engie** (transporte y energía), **Anglo American** (minería), **BMW Group**, **Daimler**, **Honda**, **Hyundai Motor**, **Kawasaki**, y **Toyota** (industria automotriz). En su conjunto este grupo suma actualmente cerca de €1400 millones de inversión anual.

Lo anterior expone el contexto. Si bien la así llamada economía del hidrógeno⁶ fue pensada hace ya casi 100 años⁷, hoy en día vemos que está apuntando al transporte. Esta orientación moderna está en constante efervescencia y muestra una dinámica de crecimiento fomentada y sustentada por el sector público.

Este documento aborda el uso del hidrógeno en particular en el sector del transporte, donde el hidrógeno aparece como una de las alternativas tecnológicas que la industria automotriz ha desarrollado como transición hacia combustibles sustentables, presentando reducciones considerables en las emisiones y polución de aire en comparación a los motores convencionales que operan con combustibles fósiles, en particular con motores de combustión interna dual, también conocido como H2ICE (*Hydrogen-fueled Internal Combustion Engines*).

³ www.energy.ca.gov

⁴ “The 2013 strategic plan for the inaugural rollout of hydrogen fueling stations in California”, CEC-600-2015-005, 2015; <http://www.energy.ca.gov/2015publications/CEC-600-2015-005/CEC-600-2015-005.pdf>

⁵ www.h2me.eu

⁶ “La economía del hidrógeno. La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra”, J. Rifkin, Barcelona: Editorial Paidós, 2002, ISBN 84-493-1280-9.

⁷ “Daedalus or Science and the Future, A paper read to the Heretics”, J.B.S. Haldane, Cambridge, 1923.

Aplicaciones Actuales de H2 en Transporte

Se realizó una búsqueda de información sobre la utilización de hidrógeno en sistemas de transporte abarcando de forma específica el uso en camiones y en barcos. Para ambos casos se encontraron aplicaciones en los que se trataba de vehículos de tamaño menor, de forma que solo se reportan los casos de mayor tamaño. En el caso de los camiones se consideran tamaños desde camionetas hasta camiones de carretera (clase 8). El anexo 1 muestra el listado detallado.

De la información recolectada es posible concluir que en la utilización de hidrógeno en transporte, camiones y flota naviera, se dan las siguientes tendencias:

El uso de hidrógeno en transporte se da para dos aplicaciones: la propulsión del vehículo y la producción eléctrica para servicios secundarios a bordo del vehículo como la climatización, sistemas de comunicación, sistemas electro-mecánicos del vehículo u otros servicios. En cuanto a la propulsión, hay unos pocos casos de uso en combustión interna, en donde el hidrógeno se quema al interior del motor de igual forma que la gasolina. En estos casos se trata de reconversión de vehículos más que un diseño dedicado. Sin embargo la mayoría de los casos son de uso de hidrógeno en celdas de combustible, también para producir electricidad que alimenta motores eléctricos de propulsión de manera conjunta con baterías.

1. Circuitos cerrados.

Esta sección se enfoca en casos de aplicación de hidrógeno en movilidad que utilizan una estación de reabastecimiento para funcionar, visto de otra forma se requiere el funcionamiento de equipos dentro de un circuito cerrado tal como redes de transporte público. El anexo 1 muestra el listado detallado. Los casos encontrados corresponden de forma mayoritaria a la utilización de hidrógeno en buses de transporte público, con una aplicación en tren, una en equipo de logística en una planta productiva y otros casos en uso mixto en donde también se genera electricidad la que se inyecta a la red. El hidrógeno se utiliza en la mayoría de los casos en la alimentación a celdas de combustible para luego utilizar la electricidad generada en motores eléctricos, pudiendo acompañarse con baterías o utilizarse de forma directa. Existe un caso de utilización en motores de combustión interna, en el que además se compara el rendimiento de estos versus el uso de hidrógeno en celdas de combustible las que poseen una eficiencia mayor. Por último existen casos, en Argentina específicamente, en los que el hidrógeno se mezcla con gas natural para alimentar motores de combustión interna.

En relación a las estaciones de reabastecimiento estas son construidas por empresas que tienen una larga trayectoria en el trabajo con gases industriales como son *Linde AG*, *Air Liquide*, *Air Products*, *Total* y *Petrobras*. Dentro de las estaciones existen 3 tipos en base a como se obtiene el hidrógeno: aquellas con producción in situ, aquellas con abastecimiento por camiones y el último tipo corresponde a una mezcla de los anteriores.

2. Potencia necesaria

- Los casos de utilización de hidrógeno en motores de combustión interna alcanzan el rango de potencia útil para su uso en camiones mineros pero no para ser usados en barcos de transporte de contenedores.
- Los casos de utilización de hidrógeno en celdas de combustible no alcanzan el rango de potencia útil para su uso en camiones mineros ni para su uso en barcos de transporte de contenedores.

La información anterior se resume en la tabla a continuación donde se comparan los rangos de potencia de motores utilizados para propulsión de camiones y barcos de transporte de contenedores con los rangos de potencia de casos encontrados para uso de hidrógeno en motores de combustión interna y en celdas de combustible (ver anexo 2).

Potencia (kW)	1	100	300	500	1,000	3,000	5,000	10,000	50,000	100,000
Camiones Clase 8			300-450kW							
Camiones Mineros					900-3,000kW					
Naves Trans. Contenedores							3,000-91,500kW			
Casos Combustión Interna				410-1,132kW						
Casos Celdas Combustible		10-745kW								

Tabla 1. Potencia de motores: tradicionales, duales y celdas de combustible.

3. Talleres y Estaciones de Reabastecimiento

Para la implementación del proyecto CHIC (Clean Hydrogen in European Cities, ver anexo 1) se debió acondicionar o construir infraestructura que permitiera una correcta mantención de los equipos utilizados, como también la infraestructura necesaria para el correcto almacenamiento y distribución del hidrógeno de acuerdo a los requerimientos de las distintas flotas de buses.

3.1 Talleres

La inversión asociada a talleres en los que se trabajará con equipos que utilizan hidrógeno debe contemplar requerimientos específicos dados por el riesgo de explosión de éste. El hidrógeno liberado de forma accidental o intencionada se esparce, difunde y eleva de forma muy rápida y bajo condiciones desfavorables de arquitectura y ventilación, se acumula a nivel del techo alcanzando el límite de explosión (de 4% a 77% en volumen). Debido a que los sentidos humanos no son capaces de percibir el hidrógeno debe instalarse sensores y alarmas que permitan alertar ante una situación de riesgo, en conjunto debe existir un sistema de ventilación y sistemas que eviten cualquier riesgo de descarga electrostática desde los buses y/o equipos hacia el ambiente.

En la tabla a continuación se muestran los valores de inversión estimados a partir del proyecto CHIC para talleres de mantención de buses alimentados con celdas de combustible de hidrógeno. Los valores suman entre 56.000 y 286.000 euros.

Descripción	Costo de inversión [€]
Costo de inversión en equipamiento del taller: reacondicionamiento bajo condiciones ideales hasta equipamiento específico para trabajo con H2 (sensores, luces y ventilación para atmósferas explosivas, ventilación de emergencia).	45.000 a 255.000
Cambios en la estructura del taller: ventanas extra o puertas de protección contra incendios	5.000 a 15.000
Extras: plataforma para trabajo en el techo de los buses, tomas de corriente en los estacionamientos	6.000 a 16.500
TOTAL	56.000 a 286.000

Tabla 2. Costo de inversión en reacondicionamiento de talleres para trabajo con equipos que utilizan hidrógeno.
Fuente: http://chic-project.eu/wp-content/uploads/2015/07/CHIC-D3_11_final.pdf (Mayo 2015)

3.2 Estaciones de Reabastecimiento

El mundo cuenta con más de 700 estaciones de reabastecimiento, de las cuales 54 nuevas estaciones solamente para el año 2015, incluyendo proyectos planificados y estaciones gestionadas por centros de investigación⁸.

A partir de la tecnología utilizada en las estaciones de reabastecimiento de hidrógeno que se construyeron para el proyecto CHIC se distinguen 3 tipos de estaciones. La inversión depende de la capacidad de reabastecimiento que se requiere. Por lo tanto se entregan valores unitarios, i.e. por cantidad de hidrógeno (kg) y por plazo (día). Los valores de inversión presentados no incluyen fundaciones ni edificaciones anexas.

- Estaciones con suministro externo de hidrógeno y sin producción in situ: comprenden los equipos de almacenamiento, usualmente un compresor y un dispensador. Para este tipo de estación, la inversión está entre 5.300 y 7.100 €/kg/día.
- Estaciones con suministro externo de hidrógeno y con producción in situ vía electrólisis: comprenden los equipos de almacenamiento, uno a más electrolizadores, uno o más compresores y uno a más dispensadores, capaces de producir in situ cerca del 40% de la demanda de hidrógeno. La inversión para este tipo de estación ronda los 8.000 €/kg/día.
- Estaciones solamente con producción in situ de hidrógeno vía electrólisis: se componen de los mismos equipos que la clasificación anterior pero con unidades de producción de hidrógeno de mayor tamaño a fin de cubrir completamente la demanda de éste. La inversión para este tipo de estación está entre 13.000 y 19.000 €/kg/día.

En la tabla a continuación se detalla el costo desglosado por ítem para las estaciones construidas por el proyecto CHIC, en las que sólo se utilizó electrolizadores alcalinos. Los costos tienen un amplio rango de valores debido a las diversas regulaciones y condiciones de acceso a mano de obra calificada de cada estación.

⁸ www.netinform.de

Componente	Costo de Inversión
Electrolizador	580.000 a 800.000 €
Compresores	Sin información
Almacenamiento Gaseoso de H2	1.300 a 1.700 €/kg
Dispensador de 350 bar	120.000 a 220.000 €
Ingeniería/Gestión del proyecto/Puesta en marcha	300.000 a 1,4 millón €
Obras Civiles (fundaciones y protecciones hasta edificación de más de un piso con sala de control y oficinas y/o salas de reunión)	>150.000 a 5,0 millón €

Tabla 3. Desglose costo de inversión para estaciones de reabastecimiento de hidrógeno. Fuente: http://chic-project.eu/wp-content/uploads/2015/07/CHIC-D3_11_final.pdf (Mayo 2015)

3.3 Soluciones comerciales

ITM Power e Hydrogenics son dos ejemplos de empresas que entregan estaciones de reabastecimiento completas y presentadas en forma de contenedores para aplicaciones al aire libre o bajo techo. La tabla 4 resume las características de las estaciones presentadas en el Anexo 3.

Ítem	Valor
Capacidad de producción diaria	25 - 462 kg/día
Tipo electrolizador	Alcalino - PEM
Potencia nominal	80 kW - 2 MW
Presión de distribución	350 y 700 bar
Pureza de hidrógeno	99,998%

Tabla 4 Resumen características estaciones de reabastecimiento de hidrógeno. Fuente: tablas en Anexo 3.

4. Infraestructura para el uso de hidrógeno – Rendimiento y costo operacional

La evaluación del rendimiento operacional de la infraestructura utilizada en el proyecto CHIC se realiza en base a 3 indicadores principales, estos son:

- eficiencia de producción de hidrógeno in situ;
- disponibilidad de la estación;
- costo operacional específico.

Los valores de meta para cada uno de estos indicadores fueron entregados al momento de solicitar la propuesta en 2009 y los valores reales de rendimiento son los obtenidos para las estaciones hasta junio de 2016. Los valores incluyen los resultados obtenidos en 8 de las 9 estaciones del proyecto, se excluye la estación de la ciudad de Berlín debido a que esta fue construida para un proyecto anterior y no representa los niveles de tecnología actuales.

4.1 Eficiencia de producción de hidrógeno

En todos los lugares en los que se contó con producción de hidrógeno in situ la eficiencia de producción de hidrógeno promedio superó el valor meta fijado en 50%, esto significa que, en promedio, se necesitó de 66.7 kWh para producir 1 kg de hidrógeno. Este valor de eficiencia corresponde a la cadena completa para producción in situ, desde la generación hasta la distribución del hidrógeno a los buses incluyendo la utilización de energía para la compresión del gas.

4.2 Disponibilidad de las estaciones

Tres estaciones de reabastecimiento de hidrógeno superaron el valor meta de 98% alcanzando valores de hasta 99.8%, todas las estaciones superaron el 94% de disponibilidad a lo largo de la operación y el promedio se estableció en 97%.

La principal razón que puso en mantención a las estaciones fue fallas en los sistemas de compresión de hidrógeno, esto a pesar de que la mayoría de las estaciones contaba con equipos redundantes instalados de forma paralela, teniendo la capacidad de funcionar correctamente y cubrir la demanda diaria con sólo un equipo.

4.3 Costo operacional específico (OPEX)

Los objetivos con respecto al costo operacional específico no se logran en ninguna estación de reabastecimiento de hidrógeno, en vez de menos de 10 €/kg de hidrógeno al comienzo del proyecto y los 5 €/kg esperados a lo largo del transcurso de este, se obtienen valores de hasta 20 €/kg.

Las principales razones incluyen un alto valor de la energía y los bajos factor de capacidad de las estaciones. En un informe preliminar sobre el valor de los costos operacionales del proyecto se estimó que para alcanzar el costo operacional inicial de 10 €/kg se necesitan factores de capacidad superiores al 50%, sin embargo en las estaciones del proyecto el factor de capacidad es menor al 25% en promedio. Los resultados de los indicadores anteriormente discutidos se resumen en la tabla a continuación.

Indicador de Rendimiento	Valor Objetivo	Valor real de rendimiento
Eficiencia de producción de hidrógeno in situ	>50%	>54% en todas
Disponibilidad de la estación (100%= estación disponible 24 horas al día)	>98%	>98% en 3 estaciones >94% en todas
Costo operacional específico (OPEX)		
- al comienzo del proyecto	<10 €/kg	>13 €/kg en todas
- durante el proyecto	<5 €/kg	

Tabla 5. Indicadores de rendimiento para estaciones de reabastecimiento de hidrógeno del proyecto CHIC. Fuente: Report on Hydrogen Infrastructure Operation and Performance (http://chic-project.eu/wp-content/uploads/2015/04/CHIC_D1-5_Public_Summary.pdf)

Análisis de Patentes Combustión Dual

Es un hecho comprobado que el uso de combustibles fósiles y de carbón para cubrir la demanda energética global produce un impacto climático adverso, además de una dependencia en las reservas que se agotan y altas fluctuaciones en los precios a causa de las condiciones geopolíticas y económicas de los países productores. La mirada hacia los combustibles limpios y energías renovables es una fuerte tendencia en los programas estratégicos de investigación, desarrollo e innovación a nivel mundial que tienen como objetivo encontrar alternativas al uso de combustibles de origen fósil optimizando principalmente los rendimientos y el balance de emisiones de efecto invernadero durante el ciclo de vida energético.

En este contexto, el hidrógeno se presenta como una alternativa de combustible en vehículos con motores de combustión dual (*H2ICE - hydrogen-fueled internal combustion engines-*), los cuales presentan una considerable reducción en las emisiones y contaminación del aire en comparación a los motores convencionales que operan con combustibles fósiles. Además, se presentan otras ventajas en precio, pureza requerida y fácil disposición del motor para operación con hidrógeno. El principal desafío es aumentar la eficiencia en la combustión dada la baja densidad del hidrógeno que disminuye el volumen disponible para la entrada de aire y que en consecuencia reduce la potencia obtenida. Una posible solución es inyectar el hidrógeno comprimido o líquido evitando los puntos calientes para prevenir la auto-ignición antes de la inyección del diésel.

Los orígenes de los vehículos con motores H2ICE se remontan a Suiza en el año 1807 con el primer modelo. Estos primeros esfuerzos fueron abandonados hasta que la industria automotriz reconsiderara el tema en los años 90. Actualmente los motores H2ICE están instalados en modelos de diferentes marcas a nivel mundial, como por ejemplo BMW en el modelo BMW Hydrogen 7, un auto de lujo que tiene la opción de quemar gasolina o hidrógeno sobre enfriado; Mazda en los modelos RX8 Renesis Hydrogen y Premacy RE Hydrogen que tienen motores rotatorios y operan con hidrógeno comprimido.; Ford, por su parte, con vehículos con celdas de combustible y motores H2ICE, el modelo Ford Superchief F250 opera con la combustión de tres fuentes: hidrógeno, gasolina y E85 Etanol, por nombrar algunos casos.

En términos ideales el hidrógeno debería usarse como único combustible, como es el caso de los motores Otto que tiene baja eficiencia con respecto a los motores diésel. Sin embargo, en términos reales y al menos para el momento actual, se aprovecha el alto límite de inflamabilidad del hidrógeno para combinarlo en diferentes proporciones con combustibles fósiles convencionales y así mejorar la eficiencia de la combustión. Las tecnologías de motores de combustible dual comprenden las mezclas de combustibles líquidos (diésel, biodiésel, gasolina, etanol) con hidrógeno.

1. Metodología

Fuentes de información

Como fuente de información principal para el análisis de información tecnológica se utilizó la base de datos de patentes de la Unión Europea EPO⁹, se revisaron informes técnicos y publicaciones científicas, y se llevaron a cabo conversaciones y consultas a técnicos/especialistas en la materia.

Estrategias de búsqueda

Se utilizó un conjunto de descriptores y estrategias de búsqueda orientadas a sistemas, tecnologías, o dispositivos de motores diésel hidrógeno. Finalmente la estrategia de búsqueda consideró el uso combinando las palabras claves: (hydrogen OR H2) AND (diesel OR gasoline OR “bi fuel”) AND engine OR H2IEC, tanto en el título como en el abstract de las patentes. El período de búsqueda abarca los años 2006 al 2017.

Filtro y selección de resultados

A partir de un primer hallazgo, se comenzó a filtrar los resultados utilizando el software *Patent Inspiration*, tomando en consideración el foco y objetivos del requerimiento de información. Se llevó a cabo además una selección conjunta entre los profesionales de la Dirección de Desarrollo Tecnológico de Corfo revisando las patentes hasta llegar a un total de **101 registros** que conforman el cúmulo de patentes sobre el cual se lleva a cabo el análisis.

2. Revisión de Patentes

En la Fig. 2 se muestra la evolución del número de patentes por año relacionado a esta tecnología. La búsqueda arrojó un total de **101 solicitudes patente**¹⁰ entre los últimos 10 años. Los resultados permiten observar que el interés por patentar y generar innovaciones en este ámbito específico presenta un peak el año 2006, para luego mostrar una tendencia a la baja durante los últimos años.

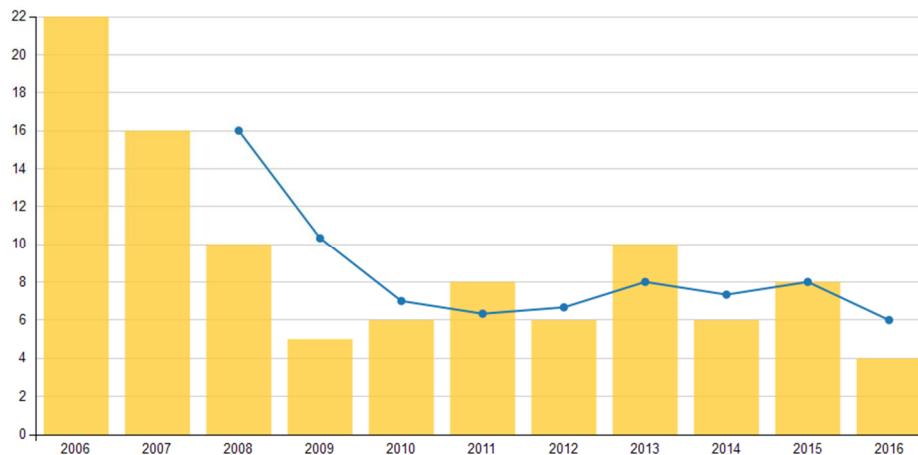


Fig. 2 Evolución de la actividad de Patentamiento

⁹ European Patent Office www.epo.org

¹⁰ En anexo N°1 se adjuntan los 101 registros identificados.

La Fig. 3 ofrece una mirada en retrospectiva entre los años 1999 y 2008 con el objetivo de reforzar la tendencia observada en la figura anterior. Se puede observar con claridad que el peak en el desarrollo de esta tecnología se ubica entre los años 2006 y 2007.

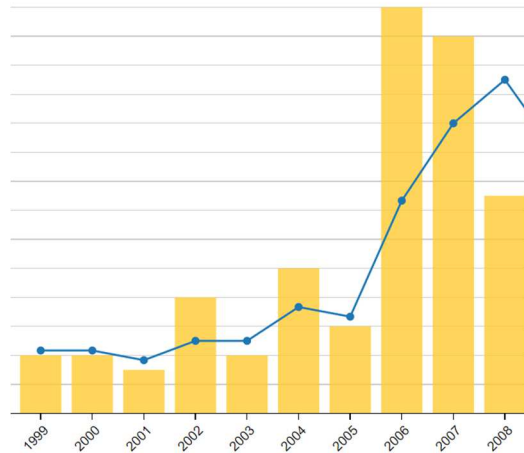


Fig. 3 Tendencia en patentamiento período 1999 – 2008

En la Fig. 4 se observan 15 países identificados que desarrollan tecnologías para el tema de análisis. Es posible observar que existe una concentración en el desarrollo de estas tecnologías en Asia, particularmente **Japón** con 47 registros (46.5%), y **China** con 17 (16.8%), seguidos de lejos por Estados Unidos con 5 (4.9%), y Alemania con 4 (3.9%), entre otros. En América Latina se observan patentes de México, Costa Rica y Chile con 1 patente cada uno.



Fig. 4 Países líderes en Patentamiento

Mediante este ejercicio se identificaron también un total de **68 empresas, universidades y centros de I+D¹¹** a nivel mundial que desarrollan la tecnología. La Fig. 5 presenta los principales solicitantes de patentes donde destacan empresas automotrices con presencia mundial como **Toyota** con 18 registros (17.82%), **Mazda** con 18 (17.82%) y **Honda** con 3 (3%), entre otras. Otras empresas del rubro automotriz que destacan son las Chinas **ByD** y **Foton** con 2 registros cada una; la norteamericana **FORD** y la Alemana **BMW** con 1 registro respectivamente, entre otras. También se observa un grupo de empresas de nicho orientadas al desarrollo de soluciones energéticas como HNO Greenfuels, Advanced fuel technologies, entre otras.

ABDULHAZIS UMER ABDYLLAIOVYCH • ADVANCED FUEL TECHNOLOGIES UK LTD • ALSET IP S AR L

BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG • BEIQI FOTON MOTOR CO LTD • BERTOZZI NAVARRO LUIS ALBERTO

BOAMFA EUGEN • BOSCH GMBH ROBERT • BRINKMANN WILHELM • BYD CO LTD • CHANG XIANGZHI

CHEN DAPEI • CHEN QINGBIN • CHINA AUTOMOBILE POWER TECHNOLOGY BEIJING CO LTD

CHONGQING CHANGAN AUTOMOBILE • COSTES JEAN RAYMOND • DENSO CORP • FORD GLOBAL TECH LLC

G OBRAZOVATEL NOE UCHREZHDENIE

G OBRAZOVATEL NOE UCHREZHDENIE VYSSHEGO PROFESSIONAL NOGO OBRAZOVANIJA SARATOVSKIJ GTU SGTU

GALINDO JOSE IGNACIO • GHP IP PTY LTD • GHP IP PTY LTD • GLOBO HYDRO POWER GMBH • GUANYI DOU

HEPP CHRISTOF • HNO GREENFUELS INC • HONDA MOTOR CO LTD • ICHIKAWA MASAHIDE

IND FUEL SYSTEMS LLC • JOMO TECHNICAL RES CT CO LTD • KAJISAI SAO • LEBEAUX KELVIN • LEITNER DANIEL

LIN YUANYOU • LIU YING-CHIEH • **MAZDA MOTOR** • MITSUBISHI HEAVY IND LTD

NANNING MINGHANG ENERGY SAVING TECHNOLOGY CO LTD • NIAMGLUM FUEN • OKUNO ISAMU • OKUNO SHINTARO

ORTIZ MARIO MUNOZ • PEREZ JOHN SCOTT • PETROLEUM ENERGY CENTER FOUND • PHILIPS PATRICK JOSEPH

PODZNOIEV HENNADII PETROVYCH • RAKDEE CHOLATHORN • SCHAFFER KLAUS M

SHANGHAI HENGYANG NEW ENERGY TECHNOLOGY DEV CO LTD

SHANGHAI WONENG ENVIRONMENTAL PROT TECHNOLOGY CO LTD • STOCKHAUSEN WILLIAM FRANCIS

TOYOTA CENTRAL RES & DEV • **TOYOTA MOTOR CO LTD**

UNIV BEIJING POLYTECHNIC • UNIV BEIJING TECHNOLOGY • UNIV JILIN

UNIV NORTH CHINA WATER & RESOU • VACUUMSCHMELZE GMBH • WULFF JOSEPH W • XUGUANG WANG • YANG HUI

YAPING XING • YU TZU-WEI • YUNSHAN FENG • ZHANG WENPEI • ZHAO QIHONG • ZIKAI HE

Fig.5 Principales solicitantes de patentes

¹¹ En anexo N°2 se presenta tabla con los actores identificados.

La Fig. 6 muestra las principales 20 empresas y cómo ha evolucionado su actividad en los últimos 10 años. En línea con las tendencias identificadas, se observa el liderazgo de empresas japonesas como **Toyota** y **Mazda** que tuvieron una mayor actividad durante los años en que se observa el peak de desarrollo (2006 – 2007) para luego ir disminuyendo su interés en la tecnología. Durante el año 2015 empresas chinas como **BYD** y **Foton Motor** mostraron interés en la tecnología.

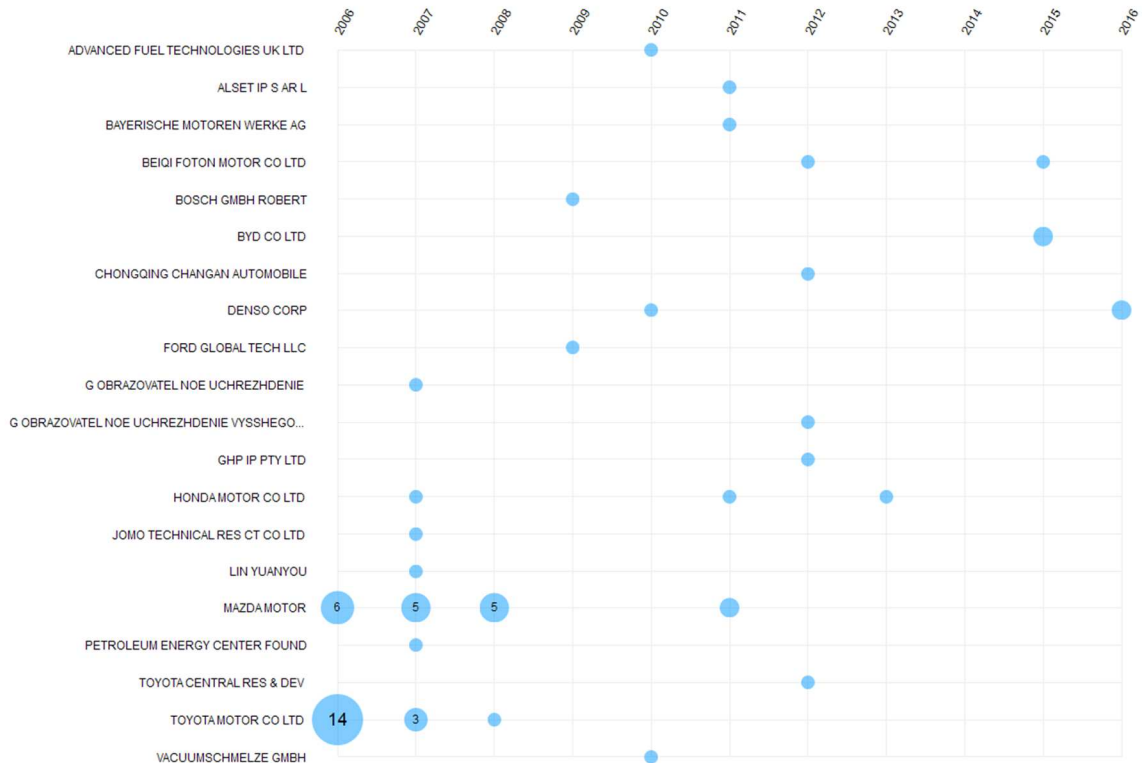


Fig. 6 Evolución de la actividad de patentamiento de las 20 principales empresas en los últimos 10 años

3. Resultados

Sobre la tecnología:

- Se observa un interés en optimizar los factores de las variables de proceso como el número de cilindros en los motores, el porcentaje de H2 empleado y el tiempo de inyección del combustible, entre otras, con el objetivo de aumentar la eficiencia y disminuir las emisiones de NOx.
- Otro desafío tecnológico identificado dice relación a prevenir la combustión anormal del hidrógeno en el momento en que es comprimido en el motor.

- Según la información revisada, mediante la introducción de pequeñas cantidades de hidrógeno (5%-15%) aparece como la forma más viable para reducir las emisiones, produciendo un ligero, o a veces nulo, aumento de rendimiento térmico, pero obteniendo resultados medioambientales muy positivos, excepto en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).
- Precisamente una de las desventajas que está siendo abordada por los nuevos desarrollos tecnológicos es la reducción de las emisiones de NOx.

Sobre las patentes:

- El análisis permite observar que estaríamos frente a una tecnología que se viene desarrollando hace ya varios años, y que tuvo su peak durante los años 2006 y 2007.
- Aparentemente una de las razones que explicarían la baja del interés en su desarrollo serían las barreras tecnológicas encontradas y la irrupción de tecnologías como las celdas de hidrógeno, entre otras.
- Se observa un predominio de Japón y China en el desarrollo de la tecnología, siendo Japón el país que más solicitudes presenta con un 50% del total. Otros países de interés son Estados Unidos, Alemania, Austria, Francia, Inglaterra, entre otros.
- De un total de 68 solicitantes de patentes, 29 (43%) son empresas y sólo 4 (5.8%) universidades, los demás corresponden a particulares.

Fuentes

Usos en transporte:

- [1] “Fuel cell electric buses, Potential for sustainable public transport in Europe”, The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), fch.europa.eu 2015.
- [2] “Clean hydrogen in European cities, Fuel cell electric buses: a proven zero-emission solution, Key facts, results, recommendations”, (FCH JU), fch.europa.eu 2016.
- [3] “Investigation of fuel cell technology for long-haul trucks”, master’s thesis, C. Misiopcecki, School for Renewable Energy Science (RES), Islandia, 2011.
- [4] “Technology validation: fuel cell bus evaluations”, L. Eudy, National Renewable Energy Laboratory, EE.UU, 2014.
- [5] El sitio web Netinform proporciona información actualizada sobre el desarrollo en todo el mundo de vehículos que usan hidrógeno y estaciones de reabastecimiento www.netinform.de/H2

Estado del arte y tendencias económicas:

- [6] “Towards development of an Australian scientific roadmap for the hydrogen economy, Analysis of Australian hydrogen energy research publications and funding”, Australian Academy of Science, 2008.
- [7] “Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan”, DOE EE.UU, 2015.
- [8] “Technology roadmap, Hydrogen and fuel cells”, International Energy Agency, 2015.
- [9] “Economic assessment of hydrogen technologies participating in California electricity markets”, J. Eichman, A. Townsend, and M. Melaina, National Renewable Energy Laboratory, EE.UU, 2016.
- [10] “Summary of market opportunities for electric vehicles and dispatchable load in electrolyzers”, P. Denholm, J. Eichman, and T. Markel, National Renewable Energy Laboratory, EE.UU, 2015.
- [11] “Renewable hydrogen technologies, Production, purification, storage, applications and safety”, edited by L.M. Gandia, G. Arzamendi and P.M. Dieguez, Elsevier, 2013.
- [12] “2013 Fuel Cell Technologies Market Report”, DOE EE.UU Fuel Cell Technologies Office, 2014.

Motores duales de Combustión Interna:

- [13] Dhanasekaran, C. & Mohankumar, G. J. Inst. Eng. India Ser. C (2016) Hydrogen Gas as a Fuel in Direct Injection Diesel Engine. 97: 157. doi:10.1007/s40032-015-0196-7
- [14] Santoso, W. B., Nur, A., Ariyono, S y Bakar, d R.A. 2010. EN: “Combustion Characteristics Of A Diesel-Hydrogen Dual Fuel Engine,” National Conference in Mechanical Engineering Research

and Postgraduate Studies (2nd NCMER 2010), Faculty of Mechanical Engineering, UMP Pekan, Kuantan, Pahang, Malaysia, pp. 23-32, 3-4 December 2010.

- [15] Tsujimura, Taku y Suzuki, Yasumasa . 2017. The utilization of hydrogen in hydrogen/diesel dual fuel engine. [en línea]. International Journal of Hydrogen Energy. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.152>> [consulta: 04 Marzo 2017]
- [16] Verhelst, Sebastian y Wallner, Thomas. 2009. Hydrogen-fueled internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science. 35 (6): 490-527

Anexos

Anexo 1 – Usos en el ámbito de la movilidad

Camiones

La clasificación de camiones en los estados unidos se realiza de forma general de acuerdo al Gross Vehicle Weight Rating (GVWR) que corresponde al peso máximo operativo del camión, este incluye todos los elementos constituyentes del camión, combustible, conductor, pasajeros y carga, sin incluir remolque. Un camión clase 8 corresponde a la máxima categoría para camiones de carretera con un peso máximo de hasta 15 toneladas, de acuerdo a esto los camiones comúnmente utilizados para minería en superficie son clasificados como camiones fuera de carretera (off-road) ya que sus dimensiones superan los máximos dados por las clasificaciones existentes para camiones de carretera. A continuación el listado de casos con tamaños de vehículo que van desde una camioneta hasta camiones de carretera (clase 8) por orden cronológico desde el año 2006 en adelante.

2006 Ford Super Chief: Ford presentó un modelo conceptual basado en su gama de **camionetas F-Series**, el modelo presenta un **motor de combustión interna** Tri-Flex V10 de 410kW que puede ser alimentado por 3 tipos de combustible: gasolina convencional, E85 (mezcla de gasolina y etanol al 85%) e hidrógeno, utilizando cada uno de ellos por separado. No existe información actualizada sobre avance del proyecto hacia comercialización del producto.

<http://www.autoblog.com/2006/01/08/ford-super-chief-sips-three-fuels>

2011 Vision Industries Corporation Tyrano: Para el transporte de carga (contenedores) en los puertos de Los Ángeles y Long Beach la empresa adaptó un camión clase 8 a un **hibrido de baterías de ion de litio con celdas de combustible de hidrógeno**. **La empresa se declara en quiebra en el año 2014**. No existen noticias sobre la empresa desde finales de 2014, tampoco se encuentra operativo su sitio web. <http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/vision-tyrano-truck/>

08/10/2012 Revolve Technologies Ltd prueba con éxito un **motor diésel operando con hidrógeno** en una **Van Ford Transit**. Esta innovación se ha denominado H2ICED y utiliza un fino control del sistema de inyección de diésel en el momento adecuado para iniciar la combustión controlada del hidrógeno. El motor puede operar completamente con diésel o con mezcla de diésel-hidrógeno sin efectos adversos.

<http://www.revolve.co.uk/news/dieselhydrogen> (noticia);

<http://www.revolve.co.uk/projects/bi-fuel-diesel-conversion> (web del proyecto).

23/08/2013 Dos fabricantes de celdas de hidrógeno: Nuvera en Massachusetts y Plug Power en Albany Nueva York, reciben 650.000 dólares cada uno de parte del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) para equipar **remolques** en los que las **unidades de refrigeración** se electrificarán con **celdas de combustible**, dejando la alimentación del motor principal funcionando en base a diésel. Los camiones realizarán entregas en los estados de Texas, California y Nueva York.

<http://www.pnnl.gov/news/release.aspx?id=1005> (noticia);

https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review16/mt014_brooks_2016_o.pdf (estado al 2016)

07/01/2014 FedEx en alianza con las compañías Smith Electric Vehicles y Plug Power añaden **celdas de combustible de hidrógeno** para aumentar la autonomía de vehículos eléctricos (**furgones**) preparándolos para pruebas reales en labores de reparto en zonas urbanas con un alcance de hasta 250 kilómetros. <http://gas2.org/2014/01/07/fedex-electric-delivery-vans-get-hydrogen-range-extendors/>

2015 Life'nGrab Project: Coordinado por Waterstofnet (*red de hidrógeno* en neerlandés), E-trucks Europe extendió el sistema de **propulsión eléctrico** de un **camión de carga** DAF CF 75 FA **agregando una celda de combustible de hidrógeno** alcanzando una autonomía de 360 km, versus 200 km sin la celda de hidrógeno. Actualmente Cure Waste Management ocupa el camión para recolección de desechos de papel en Eindhoven y comunidades cercanas. <http://www.waterstofnet.eu/en/hydrogen-waste-collection-vehicle>

23/02/2015 Renault Trucks en conjunto con la Oficina Postal Francesa (La Poste) agregan a un Maxity eléctrico (**camioneta**) una **celda de combustible de hidrógeno** desarrollada por Symbio FCell que duplica su autonomía a 200 km. Peso bruto del vehículo 4,5 toneladas, carga útil 1 tonelada. <http://corporate.renault-trucks.com/en/press-releases/2015-02-23-the-french-poste-office-and-renault-trucks-jointly-test-a-hydrogen-powered-truck-running-on-a-fuel-cell.html>

03/09/2015 La Empresa de Gestión de residuos de Berlín (BSR), se encuentra probando un **camión de recolección de basura** con un motor eléctrico alimentado por una **celda de combustible de hidrógeno** para **accionar los mecanismos** de compresión de residuos y de vaciado del contenedor del camión, gracias a esto se estima un ahorro de combustible sobre el 30% durante la recolección de residuos. <http://www.eltis.org/discover/case-studies/worlds-first-hydrogen-fuel-cell-powered-waste-collection-vehicle-used-berlin>

2016 DOE: Hydrogen Fuel-Cell Electric Hybrid Truck Project, el programa tiene como objetivo desarrollar 3 **camiones clase 8** con el fin de acelerar la introducción y la penetración de las tecnologías de **transporte eléctrico** en el sector de transporte de carga. A junio de 2016 el proyecto se encuentra en etapa de diseño final, adquisición de componentes y construcción del sistema de motorización del vehículo. http://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f33/vs116_decandis_2016_o_web.pdf

28/04/2016 ASKO, distribuidor de alimentos noruego: cuatro camiones alimentados con **celdas de combustible de hidrógeno** y una **planta de producción de hidrógeno alimentada por sus propias celdas solares** forman parte de la nueva iniciativa sobre hidrógeno de ASKO. El proyecto estará en etapa de prueba entre 2017-2019 con 4 **camiones** y 10 **grúas elevadoras**. Los camiones serán del productor escandinavo Scania, y Nel será la empresa que proveerá el hidrógeno y la infraestructura para alimentar los camiones. <https://fuelcellsworks.com/news/norwegian-foods-distributor-asko-launches-hydrogen-truck-demo;> <https://www.scania.com/group/en/scania-and-asko-test-hydrogen-gas-propulsion> (16/08/2016); <http://mb.cision.com/Main/115/2099232/573601.pdf> (Nel; 12/10/2016)

24/05/2016 En el Concejo de Fife, Escocia, se han entregado dos **camiones de recolección de residuos reconvertidos** para alimentarse utilizando **hidrógeno y diésel** los que se mezclarán en el

colector del motor de combustión, el hidrógeno se almacenará en tanques auxiliares instalados en la parte inferior del vehículo. El trabajo de conversión fue desarrollado por Revolve Technologies y ejecutado por el especialista en vehículos de bajas emisiones inglés ULEMCo.

<http://www.airqualitynews.com/2016/05/24/fife-hydrogen-switch>

30/08/2016 Nikola Motor Company, Nikola One: el 1 de diciembre de 2016 se lanzará en Salt Lake City (USA). Camión clase 8 con una **celda de hidrogeno** de 800 volt de construcción propia que brindará alrededor de 1900 km de autonomía entre cargas y con una potencia del motor de 745kW (1.000 HP). La compañía proveerá el hidrogeno con una red de cerca de 50 **estaciones de suministro a lo largo de Estados Unidos y produciendo el hidrógeno en granjas solares** construidas por la misma empresa. <https://www.trucks.com/2016/08/30/nikola-hydrogen-fuel-cell-truck>
<https://nikolamotor.com/one>

Barcos

23/01/2008 Como parte del proyecto SMARTH2, al crucero de observación de ballenas Elding en Reykjavik, Islandia, se le agregó una **unidad eléctrica auxiliar híbrida** compuesta por **celdas de hidrógeno** de 10 kW y que con apoyo de baterías es capaz de alcanzar los 15 kW. La unidad eléctrica auxiliar es utilizada al momento del acercamiento hacia las ballenas debido a que esta produce menor ruido que el equipo diésel.

http://newenergy.is/en/projects/overview/hydrogen_activities/hydrogen_boat

15/12/2009 Nemo H2: se instaló dos unidades de **celdas de combustible PEM** de 30 kW en el ferry en Ámsterdam además de una batería de 70 kW formando un **sistema híbrido, las celdas de combustible** se alimentan con hidrógeno el que se almacena en 6 cilindros a 35 MPa con capacidad de 24 kg de hidrógeno.

<http://www.marinebuzz.com/2009/12/15/nemo-h2-worlds-first-fuel-cell-powered-canal-boat-launched-in-amsterdam>

2009 Viking Lady: la nave de transporte de suministros en el mar del norte es **propulsada eléctricamente** por un motor alimentado a través de un sistema de **celdas de combustible con electrolito de carbonato fundido** de 320 kW desarrollado por la empresa alemana MTU Onsite Energy GmbH. Las celdas utilizan como **combustible gas natural licuado reformado**, el sistema se instaló en otoño de 2009 y ha estado en operación por más de 18500 horas.

<http://gcaptain.com/viking-ladyfuel-cells-trial-ends-success>

15/06/2010 En el barco de transporte de automóviles M/V Undine se instaló una unidad de **energía auxiliar** consistente en una **celda de combustible con electrolito de óxido sólido (SOFC)** construida por Wärtsilä capaz de producir 20 kW y que utiliza **metanol reformado como combustible**, la energía se utilizará para alimentar los servicios de navegación, radio y confort cuando el barco se encuentre en puerto.

<https://www.wired.com/2010/06/methanol-fueled>

17/10/2012 FCS Alsterwasser: Dentro del proyecto Zemships (Zero Emission ships) dos unidades de **celdas PEM** Proton Motor PM 600 de 48 kW cada una se instalaron en el ferry FCS Alsterwasser en Hamburgo, las unidades serán alimentadas con hidrógeno el que será almacenado de

forma gaseosa a 350 bar y 15°C, además se incluyen **baterías** de gel plomo formando un **sistema híbrido**. El ferry es capaz de transportar hasta 100 pasajeros.

<http://articles.maritimepropulsion.com/article/World28099s-first-fuel-cell-ship-e2809eFCS-ALSTERWASSERe2809c-proves-ist-reliability-1780.aspx>

14/11/2012 Thyssenkrupp Veerhaven BV y ThermoDynamics Group Holding BV prueban un nuevo sistema de **producción de hidrógeno** a bordo utilizando **electrólisis**, para su posterior inyección como **aditivo en motores de combustión interna** de 1132kW (Thermo Hydrogen System) encargados de propulsar barcos que realizan traslado de materiales a través del Rin desde los puertos de Rotterdam, Ámsterdam y Amberes hasta los puertos de Thyssen en Duisburg, Alemania. Los resultados de las pruebas indican una reducción en las emisiones de NOx, dióxido de carbono e hidrocarburos junto a una mayor eficiencia del motor. No existen noticias actuales en las que esté involucrada la empresa o el sistema empleado, de cualquier forma la página web de la empresa sigue activa.

http://thermogh.com/articles/Scheepvaartkrant-14-11-2012_ENG.pdf (noticia);

http://thermogh.com/brochures/02-05-2012_hydrogensystem-LQ.pdf (reporte);

<http://thermogh.com> (web ThermoDynamics Group Holding BV)

22/02/2016 MF Ole Bull, en el ferry de transporte de automóviles se reemplazará uno de los motores diésel por un **motor eléctrico alimentado por celdas de combustible PEM** de 200 kW en **combinación con baterías de ion de litio** de 100 kWh. Se estima que el consumo de hidrógeno será de 150 kg por día y será **producido mediante electrólisis** por la compañía GreenStat. El ferry opera entre Valestrand y Breistein, Noruega.

<http://cmr.no/news/2016/02/22/hydrogen-ferry-mf-ole-bull>

Proyecto e4ships – Fuel cells in marine applications

El objetivo del proyecto e4ships es mejorar de forma significativa el **suministro de energía a bordo de buques de gran tamaño**. Para ello se planifica el uso de **celdas PEM y celdas de alta temperatura** las que deberían permitir una reducción considerable de las emisiones y del consumo de combustible.

<http://www.e4ships.de/e4ships-home.html>

12/2015 e4Ships Pa-X-ell Project: En el ferry MS Mariella se instaló una celda de combustible de hidrógeno PEM de alta temperatura con el objetivo de probar el funcionamiento de la celda en conjunto al suministro convencional de energía. La celda será alimentada con una **mezcla de metanol y agua** y producirá 90 kW los que se **utilizarán los servicios** de hotelería de la nave, el ferry puede transportar hasta 2500 pasajeros.

<http://designunivers.dk/demo/wp-content/uploads/2015/12/Pa-X-ell-%E2%80%93-Maritime-application-for-fuel-cell-technology.pdf>

06/10/2016 e4Ships SchIBZ Project: En la nave comercial MS Forester se instaló una **celda de óxido sólido (SOFC)** construida por Sunfire que utiliza un electrolito cerámico sólido para convertir la **alimentación de diésel bajo en azufre** reformado en energía eléctrica (50 kW), y calor operando a una temperatura de cerca de 800°C.

<https://www.gasworld.com/sunfire-supplies-thyssenkrupp-with-50kw-fuel-cell/2009348.article>

Circuitos cerrados

Tren alimentado con celda de combustible – Alemania, En la conferencia Innotrans Berlín 2016, la empresa Alstom ha revelado su nuevo tren impulsado de forma híbrida por celdas de combustible de hidrógeno y **baterías de ion de litio** y que además cuenta con frenado regenerativo. Con una capacidad de 300 pasajeros, 150 sentados, y un alcance de entre 600 y 800 kilómetros a una velocidad de 140 km/h con el estanque a máxima capacidad. La empresa ofrece un paquete consistente en el tren, mantención y la infraestructura completa para el **abastecimiento** de hidrógeno. La región de Baja Sajonia será la primera en utilizar este tipo de tren que se abrirá al público en diciembre de 2017.
<http://www.independent.co.uk/news/world/europe/germany-unveils-zero-emissions-train-only-emits-steam-lower-saxony-hydrogen-powered-a7391581.html?cmpid=facebook-post>
<https://www.youtube.com/watch?v=O3bUE9uHkqM> (video de Alstom)

Buses alimentados por celdas de combustible, Sao Paulo – Brasil, En la ciudad de Sao Paulo se encuentran en operación 2 buses alimentados de forma híbrida con **baterías y celdas de combustible** de hidrógeno. Ballard Power Systems fabricó los módulos de celdas de combustible, Hydrogenics suministró el electrolizador, el equipamiento para **compresión, almacenamiento y distribución** de hidrógeno y trabajó con Petrobras Distribuidora y Eletropaulo en la preparación del lugar, instalación y capacitación para la mantención y operación de la estación. Marcopolo y Tuttotrasporti trabajaron en la preparación del bus para soportar el nuevo equipamiento.
<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/empreendimentos/projetos-de-desenvolvimento-tecnologico/onibus-a-hidrogenio/cronologia.fss> (cronología del proyecto)
<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/empreendimentos/projetos-de-desenvolvimento-tecnologico/onibus-a-hidrogenio/english.fss> (proyecto)
<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/pdf/pressReleasePartners.pdf> (socios)
<http://book.boxnet.com.br/Visualizar/?t=003BC83381784B42996B55CCC16FF003010000007D6FC17F63144A09A03C4546E2472761CD81DD5D21FFF41CA623596366205A5E1BEA5FA98025726E4BE3EADF600268DF77CCB5613EBEEA9683804DDD33546ABE> (video)

Estación Pico Truncado – Argentina, **Estación de producción de hidrógeno mediante electrólisis utilizando energía eléctrica producida en un parque eólico adyacente**, la estación entrega como producto hidrógeno puro y una mezcla de 80% gas natural y 20% hidrógeno (Hidrogas), para la producción de hidrógeno se utiliza un electrolizador Stuart (actualmente Hydrogenics) facilitado por la Universidad de Québec à Trois Rivières de Canadá más un electrolizador fabricado en el Instituto Tecnológico Bueno Aires. El Hidrogas se utilizará para alimentar camionetas y equipo eléctrico dentro de la comunidad cercana y el oxígeno producido se utilizará en medicina.
<https://www.inti.gob.ar/sabercomo/sc25/inti8.php>;
<http://www.observadorcentral.com.ar/especializadas/industria/energias/pico-truncado-capital-nacional-del-hidrogeno/>

Comodoro Rivadavia, Provincia del Chubut – Argentina, la empresa Hychico opera desde 2009 la planta de **producción de hidrógeno utilizando energía proveniente de aerogeneradores**, la planta cuenta con dos **electrolizadores** HySTAT 60 Nm³/h de la empresa canadiense Hydrogenics para producir 120 Nm³/h de hidrógeno y 60 Nm³/h de oxígeno ambos a una pureza de 99.998%. **El hidrógeno es mezclado con gas natural para alimentar un generador de 1,4 MW que posee un motor de combustión interna especialmente adaptado para la operación con esta mezcla de gases.** La proporción de gases alcanza hasta un 42% de hidrógeno en mezcla, se logran buenos resultados en

cuanto a rendimientos y reducción de emisiones (CO₂, CO y NO_x). Adicionalmente la empresa comercializa el oxígeno producido por los electrolizadores en el mercado de los gases industriales.

<http://www.hychico.com/esp/planta-de-h2.php>

Berlín - H2BER Project – Alemania, cerca del nuevo aeropuerto en Berlín existe una **granja solar** de la empresa Enertrag de la que su energía será convertida en hidrógeno utilizando un **electrolizador** McPhy Energy para suavizar las fluctuaciones y superávit de energía eólica. Total y Linde son los responsables de la construcción de la infraestructura necesaria para la distribución de hidrógeno. Además la tecnología de **almacenamiento sólido de hidrogeno** desarrollada por McPhy Energy permitirá a la estación de la empresa 2G producir mediante cogeneración electricidad o calor a partir del hidrógeno almacenado. El hidrógeno se utilizará para alimentar buses, automóviles y otras estaciones de abastecimiento de hidrógeno.

<http://www.mcphy.com/en/projects/demonstration-projects/h2ber>

Spartanburg – Estados Unidos, En la planta de producción de vehículos de la empresa BMW se utilizan cerca de 350 **grúas elevadoras y vehículos que ejercen labores de producción y logística**, estos son alimentados con **celdas de combustible de hidrógeno** provistas por Plug Power Inc., el hidrógeno es **almacenado de forma líquida** en una instalación construida por Linde, para la alimentación de los equipos el hidrógeno es **gasificado y enviado a las estaciones de abastecimiento** a lo largo de la planta. **El hidrógeno se obtiene como un subproducto de una planta de clorato de sodio**, posteriormente el hidrógeno es purificado, comprimido y licuado utilizando hidroelectricidad.

http://www.lindeus.com/en/news_and_media/press_releases/linde-hydrogen-fueling-system-surpasses-one-million-fills-at-bmw-plant.html

https://www.bmwusfactory.com/bmw_articles/bmw-manufacturing-expands-use-of-hydrogen-fuel-cells/

H2 Aberdeen – Hydrogen Bus Project. En Aberdeen, Escocia, se encuentra en operación una flota de **10 buses alimentados de forma híbrida por celdas de combustible y baterías**. El fin del proyecto es atraer inversión y convertir a la ciudad de Aberdeen en un líder mundial en tecnología de baja emisión de carbono. El proyecto incluye la infraestructura para **alimentación y mantenimiento de los buses**. El especialista en gases industriales BOC desarrolla un **electrolizador** de 1MW para producir el hidrógeno que alimentará la flota. Vanhool fabrica los buses y Ballard Power Systems desarrolla las celdas de combustible. Existe la intención de agregar 10 o 20 nuevos buses a la flota para 2018, además de continuar con la operación de la flota existente. Se estima que el costo de cada bus ronda las 500.000 libras esterlinas (CLP 40 millones).

<http://aberdeeninvestlivevisit.co.uk/Invest/Aberdeens-Economy/City-Projects/H2-Aberdeen/Hydrogen-Bus/Hydrogen-Bus-Project.aspx> (proyecto)

<https://www.eveningexpress.co.uk/fp/news/local/decision-to-be-made-on-10-new-hydrogen-buses> (noticia 12 abril 2016)

CHIC Project – Clean Hydrogen in European Cities

El Proyecto consiste en la implementación **de flotas de buses alimentados con hidrógeno y estaciones de reabastecimiento** de hidrógeno en ciudades europeas y una en Canadá, el proyecto comenzó en 2010 y termina en diciembre de 2016. **En todos los caso los vehículos se alimentan con celdas de combustible, excepto en el caso de Berlín donde se usaron motores de combustión interna.** De

acuerdo a los datos entregados por el proyecto CHIC actualmente se prefiere utilizar el hidrógeno como combustible en celdas de combustible por sobre motores de combustión interna, debido a la mayor eficiencia operacional que presentan las celdas 50-60%, versus 25-40% de un motor de combustión interna, lo que implica un mayor rango y menor consumo de combustible. Por otro lado los motores de combustión interna de hidrógeno no son completamente libres de emisiones ya que producen NOx y además de producir ruido de forma similar a un motor diésel.

<http://chic-project.eu/demonstration-sites/berlin>

A continuación se presenta un desglose de las ciudades participantes del proyecto.

Aargau – Suiza, en la estación de la empresa Postauto y como parte del proyecto CHIC, 5 buses Daimler Citaro H2 (EvoBus) operan en la ciudad utilizando celdas de combustible y se reabastecen en la estación, en ella se produce el hidrógeno con un electrolizador HySTAT 60 Nm³/h produciendo 130 kg/día, cuenta con almacenamiento de alta presión para 5.550 Nm³ a 410 bar, el hidrógeno se distribuye a 350 bar. Carbagas AG (filial suiza de Air Liquide) se encargó de la construcción de la estación de reabastecimiento.

<http://chic-project.eu/demonstration-sites/aargau>

Bolzano - Italia, como parte del proyecto CHIC, 5 buses EvoBus recorren la ciudad alimentados por celdas de combustible y son reabastecidos de hidrógeno de forma similar a los buses tradicionales funcionando a diésel, la estación de reabastecimiento tiene 3 electrolizadores HYSTAT 60 Nm³/h de Hydrogenics capaces de producir 400Kg/día de hidrógeno de forma conjunta y es capaz de distribuir el hidrógeno a una presión de 350 y 700 bar. La empresa Linde fue la encargada de la construcción de la estación de reabastecimiento de hidrógeno y comenzó a operar en 2014.

<http://chic-project.eu/demonstration-sites/bolzanobozen>

Londres – Inglaterra, a través del proyecto CHIC se espera encontrar soluciones para absorber la creciente población y sus demandas de transporte, como también mejorar los niveles de calidad de aire y de ruido. Para esto 8 buses (Wrightbus) alimentados por celdas de combustible operarán en la ciudad por la empresa Tower Transit desde 2011, en una ruta turística en el centro de la ciudad entre 16 y 18 horas al día (200km/día). La estación de reabastecimiento construida por Air Products y operativa desde 2010 cuenta con una capacidad de almacenamiento de 320 kg de hidrógeno y se abastece mediante camiones con hidrógeno proveniente de metano reformado.

<http://chic-project.eu/demonstration-sites/london>

Milán – Italia, Con el fin de reducir los niveles de congestión, emisiones de CO₂ y contaminación del aire la ciudad forma parte del CHIC Project, mediante el que se inicia la operación de 3 buses eléctricos alimentados por celdas de combustible de hidrógeno desde octubre de 2013 a cargo de la empresa Azienda Transporti Milanese S.p.A, los buses corresponden a 3 Mercedes-Benz Citaro de EvoBus y tienen recorridos de 48, 148, y 170 kilómetros por día. En la estación de reabastecimiento de hidrógeno este es obtenido mediante electrólisis con una capacidad de producción de 200 kg/día y una presión de distribución de hidrógeno de 350 bar. La estación fue construida por la empresa Linde.

<http://chic-project.eu/demonstration-sites/milan>

Oslo – Noruega, en la estación de buses Ruter cerca de Oslo y como parte del proyecto CHIC, 5 buses Van Hool recorren la ciudad alimentados por celdas de combustible. El hidrógeno se obtiene en el mismo sitio a partir de dos electrolizadores HySTAT 60 Nm³/h de Hydrogenics produciendo 260

kg por día, la distribución del hidrógeno se realiza a 350 bar y tiene capacidad para instalar un dispensador de 700 bar a futuro. La estación entró en servicio en 2012 y fue construida por Air Liquide <http://chic-project.eu/demonstration-sites/oslo>; <http://chic-project.eu/uncategorized/oslo-hydrogen-refueling-station>

Berlín – Alemania, En conjunto con el operador de transporte público BVG en 2006 entran en operación 4 buses con motor MAN de combustión interna aspirado que se alimentan con hidrógeno, en 2007 comienza la operación de 10 buses con motor de combustión interna turbocargado los que se devuelven a MAN en 2009 por fallas en la válvula de inyección. Los 4 buses iniciales operan hasta diciembre de 2014. La estación de reabastecimiento se alimenta vía camiones con hidrógeno proveniente de metano reformado, fue construida por TOTAL y posee una capacidad de almacenamiento de 650 kg con una capacidad de alimentación diaria de 400 kg.

Colonia – Alemania, Regional Verkehr Köln (RVK) es el operador de transporte público en la región de Colonia y opera desde 2012 dos buses Phileas de 18 metros alimentados por celdas de combustible, además desde 2014 opera con 2 buses VanHool de 13 metros de largo. La estación de reabastecimiento se alimenta de hidrógeno producido como subproducto de una planta química y fue construida por Air Products entrando en servicio en 2011 y posee una capacidad de almacenamiento de 420 kg de hidrógeno. <http://chic-project.eu/demonstration-sites/cologne>

Hamburgo – Alemania, en el centro de Hamburgo se ubica una estación de reabastecimiento de hidrógeno operada por la empresa sueca del sector energético Vattenfall capacitada para servir en la alimentación de buses y automóviles, la producción del hidrógeno está a cargo de 2 electrolizadores HySTAT 60 Nm³/h de Hydrogenics produciendo 780kg/día, el almacenamiento comprende 450 kg a 45 bar y 250 kg a 830 bar y puede ser distribuido a 350 y 700 bar, para buses y automóviles respectivamente. Linde es la empresa encargada de la construcción de la estación de reabastecimiento que entró en servicio en 2012. https://corporate.vattenfall.com/press-and-media/press-releases/press-releases-import/hydrogen-station-in-hamburg-vattenfalls-latest-endeavour-in-sustainable-mobility/? t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d& t_q=hydrogen& t_tags=language%3aen%2c siteid%3afa59d14b-8a3f-4bf7-93c4-94c8a99859e7& t_ip=200.29.137.35& t_hit.id=Kwd Kestrel Library Epi Types Pages PressReleas ePageType/ 305b638a-9acd-4012-b943-363c3c9be947 en& t_hit.pos=2

Whistler, British Columbia – Canadá. En Whistler, con motivo de los juegos olímpicos de invierno de 2010, se implementó una flota de 20 buses alimentados por celdas de combustible de hidrógeno los que pasados los juegos se incluyeron dentro de la flota de transporte público (BC Transit) de Whistler. La estación de reabastecimiento comenzó a operar en 2009 y fue construida por Air Liquide Canada, con una capacidad diaria de 1000 kg, se reabastecía de hidrógeno mediante camiones desde una planta de producción en Quebec. En 2013 se informó que los buses serían reemplazados por buses diésel debido a que el costo del combustible y mantención sería de 3 veces el de un bus alimentado por diésel. <http://www.theglobeandmail.com/news/british-columbia/whistlers-hydrogen-buses-to-be-scraped-replaced-by-diesel/article15900241/>; <http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/bc-transit-s-90m-hydrogen-bus-fleet-to-be-sold-off-converted-to-diesel-1.2861060>;

<http://chic-project.eu/demonstration-sites/whistler>

CEP initiative – Clean energy partnership

Clean Energy Partnership (CEP) es una iniciativa conjunta del ministerio de transporte e industria de Alemania y la industria, con 20 socios al día de hoy, para evaluar la conveniencia del hidrógeno como combustible. La iniciativa empezó en diciembre de 2002 y a lo largo de los años se sumaron socios industriales en el desarrollo de las tecnologías de producción y para la logística de distribución y reabastecimiento (Total, Air Liquide...), así como para el desarrollo de tecnologías de celdas de combustible (Mercedes-Benz, Ford, Toyota, Honda...) hasta un agrupamiento Daimler-Ford-Renault-Nissan para la introducción con a gran escala de un vehículo con celda de combustible hidrogeno en 2017.

<http://cleanenergypartnership.de/en>

Anexo 2 – Rangos de potencia

De motores para propulsión en camiones y naves

En términos de potencia del motor los camiones clase 8 utilizan motores capaces de entregar potencias entre los 300 y 450 kW, por otro lado los camiones mineros van desde los 900 kW para un camión con una capacidad de carga de 100 toneladas, a los 3.000 kW para camiones con capacidad de 400 toneladas.

<https://www.liebherr.com/en/deu/products/mining-equipment/mining-trucks/mining-trucks.html>

(Liebherr);

http://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks.html

(Caterpillar);

<http://www.komatsuamerica.com/mining> (Komatsu)

De acuerdo al fabricante de motores diésel MAN, para naves de transporte de contenedores las potencias asociadas a los motores utilizados en cada tipo de barco se muestran en la siguiente tabla.

Tipo	Capacidad (TEU)	Potencia Motores (kW)
Small	400-1.000	3.000-8.800
Feeder	1.200-2.800	10.500-24.900
Panamax	2.800-5.100	25.000-45.000
Post-Panamax	5.500-10.000	49.800-67.700
New Panamax	12.500-14.000	74.000-78.000
Ultra Large Container Vessel (ULCV)	15.500-18.000	84.000-91.500

TEU: unidad equivalente a veinte pies, representa la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies (6,1 m), puede tener una masa de hasta 23,6 toneladas. Unidad generalmente utilizada para medir la capacidad de barcos de transporte de contenedores.

Fuente: <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/propulsion-trends-in-container-vessels.pdf?sfvrsn=20>

De celdas de combustible

Se buscó información sobre la potencia que es posible generar utilizando celdas de combustible, los valores de potencia corresponden a potencia típica modular, por lo que se puede generar una potencia mayor agrupando más módulos. La siguiente tabla resume la información encontrada:

Tipo celda de combustible	Electrolito	Temperatura de operación	Potencia típica modular	Eficiencia eléctrica
Proton Exchange Membrane (PEM)	Ácido sulfónico perfluorado	<120°C	< 1kW - 250kW	60% (H2 directo) ; 40% (combustible reformado)
Alkaline (AFC)	Hidróxido de potasio acuoso en una matriz porosa, o membrana de polímero alcalina	<100°C	1kW - 100kW	60%

Phosphoric Acid (PAFC)	Ácido fosfórico en una matriz porosa o en una membrana de polímero	150-200°C	5kW - 400kW (módulos de 100kW) (liquid PAFC); <10kW (polymer membrane)	40%
Molten Carbonate (MCFC)	Carbonatos de litio, sodio y/o potasio fundidos en una matriz porosa	600-700°C	300kW – 3000kW (módulos de 300kW)	50%
Solid Oxide (SOFC)	Zirconio estabilizado con Itrio	500-1000°C	1kW- 2000kW	60%

Características celdas de combustible según tipo.

Fuente: http://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/fcto_fuel_cells_comparison_chart_apr2016.pdf

Anexo 3 – Electrolizadores y estaciones de reabastecimiento, información técnica y oferta

Electrolizadores Alcalinos

La oferta comercial para uso industrial es ya amplia.

- IHT, Industrie Haute Technologie, (Suiza) – electrolizadores de 20 à 760 m³/hora, 1-32 bar
<http://www.iht.ch/technologie/electrolyse/industry/electrolyse-sous-haute-pression-systeme-lurgi.html>
- ELT - Elektrolyse Technik GmbH, (Alemania) : de 330 à 1400 m³/hors, 1-30 bar
<http://www.elektrolyse.de>
- Hydrogenics, (Canadá) ex-Vandenborre/Stuart Energy, de 10 à 15 m³/hora, 10-25 bar
<http://www.hydrogenics.com>
- Angstrom Advanced Inc.(USA) – hasta 500 m³/hora, hasta 50 bar
<http://www.angstrom-advanced.com/index.asp?page=hydrogenh2o>
- McPhy Energy (Francia)

Datos de la empresa Hydrogenics:

Modelo	HySTAT-15-10/30	HySTAT-60-10	HySTAT-100-10
Presión de salida	10 barg - 27 barg		
Numero de módulos de celdas	1	4	6
Flujo nominal de hidrógeno	15 Nm ³ /h	60 Nm ³ /h	100 Nm ³ /h
Potencia de entrada nominal	80 kW	300 kW	500 kW
Consumo AC	5.0-5.4 kWh/Nm ³		
Rango flujo de hidrógeno	40-100%	10-100%	5-100%
Pureza de hidrógeno	99.998%		
Consumo de agua	<1.7 litros/Nm ³ H ₂		
Tamaño	container 20 pies	container 40 pies	container 40 pies

Características Electrolizadores Alcalinos Hydrogenics. Fuente: http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/HYDROGENICS_RenewableHydrogen.pdf

Electrolizadores PEM

- Siemens AG, multinacional de origen alemán opera en los sectores industrial, energético, salud e infraestructuras y ciudades. La empresa desarrolló una tecnología denominada SILYZER, un innovador sistema de electrólisis basado en la tecnología PEM. La empresa desarrolla una amplia gama de soluciones en base a esta tecnología con focos en la industria, la movilidad eléctrica y los servicios de red
<http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/pem-electrolyzer/silyzer>

Modelo	SILYZER 200
Presión de salida	hasta 35 bar
Flujo nominal de hidrógeno	225 Nm ³ /h
Potencia de entrada nominal	1.2 MW

Pureza de hidrógeno	99.5% - 99.9%
Consumo de agua	1.5 litros/Nm ³ H ₂
Tamaño	6.3m x 3.1m x 3.0 m
Peso	17 ton
Ciclo de vida según diseño	>80,000 h

Características Electrolizadores PEM Siemens. Fuente: <http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/pem-electrolyzer/silyzer/Documents/broucher-silyzer-en.pdf>

- Proton OnSite, EEUU, produce generadores de oxígeno PEM para submarinos de EEUU, Gran Bretaña y Francia. En ese caso el hidrógeno producido es un residuo y eliminado en el mar
<http://protononsite.com>
<http://www.protonenergy.com>

Modelo	M200	M400
Presión de salida	30 bar	
Flujo nominal de hidrógeno	200 Nm ³ /h	400 Nm ³ /h
Potencia de entrada nominal	1 MW	2 MW
Pureza de hidrógeno	>99.9995%	

Características Electrolizadores PEM Proton OnSite. Fuente: http://protonenergy.com/resources/commercial%20brochures/pd-0600-0115_rev_a.pdf

- Hydrogenics, Canadá, con HySTART y HyLYZER cubren toda la gama
<http://www.hydrogenics.com>

Modelo	HyLYZER-100-30	HyLYZER-400-30	HyLYZER-3,000-30
Presión de salida	30 bar		
Numero de módulos de celdas	1	2	10
Flujo nominal de hidrógeno	100 Nm ³ /h	400 Nm ³ /h	3,000 Nm ³ /h
Potencia de entrada nominal	500 kW	2 MW	15 MW
Consumo AC	5.0-5.4 kWh/Nm ³		
Rango flujo de hidrógeno	1-100%		
Pureza de hidrógeno	99.998%		
Consumo de agua	<1.4 litros/Nm ³ H ₂		
Tamaño	container 20 pies	container 40 pies + 20 pies	600 m ² (indoor)

Características Electrolizadores PEM Hydrogenics. Fuente: http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/HYDROGENICS_RenewableHydrogen.pdf

- AREVA, Francia, lanzó en 2014 la start-up Areva H2Gen, una joint venture de su ex departamento Helion, su filial CETH2, y cofinanciada por el Estado con objetivo la fabricación y comercialización de electrolizadores PEM. Dos años después, en 2016, ha sido inaugurada la primera planta francesa de electrolizadores PEM de agua.
<http://www.areva.com/FR/actualites-10217/production-d-hydrogene-creation-d-un-leader-mondial-de-l-electrolyse-pem.html>

La planta busca conquistar el mercado mundial. “La nueva planta, que cuenta sólo unos veinte empleados, quiere producir 30 electrolizadores por año, ya tiene unos 10 millones de euro de ordenes en cambio de una inversión que fue 4 veces menor.”

<http://www.actu-environnement.com/ae/news/hydrogene-areva-h2gen-usine-electrolyseurs-france-stockage-energie-mobilite-27081.php4>

Modelo	E5	E10	E20	E30	E40	E60	E120
Presión de salida	< 35 barg						
Flujo nominal de hidrógeno [Nm ³ /h]	5	10	20	30	40	60	120
Potencia de entrada [kVA]	40	80	160	240	320	480	960
Consumo AC kWh/Nm ³	5.7	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8
Pureza de hidrógeno	<99.999%						
Consumo de agua [L/h]	<10	<20	<40	<60	<80	<120	<240

Características Electrolizadores PEM Areva H2Gen. Fuente: http://www.avevah2gen.com/wp-content/uploads/2016/07/areva_h2gen_pem-electrolysers.pdf

- o Giner Inc, EEUU, electrolizadores de laboratorio, hasta 3 m³ / hora con presión 85 bar (investigando 200 bar). La empresa declara casi 90% de eficiencia. <http://www.ginerinc.com>

Modelo	30S	90S	200S
Flujo nominal de hidrógeno	30 Nm ³ /h	90 Nm ³ /h	200 Nm ³ /h
Potencia de entrada nominal	150 kW	450 kW	210 kW
Tamaño	container 20 pies	container 30 pies	container 40 pies

Características Electrolizadores PEM Giner Inc. Fuente: <http://www.ginerinc.com/giner-systems>

Electrolizadores PEM modulares:

Modelo	Allagash	Kennebec
Presión de salida	<40 bar	<15.5 bar
Flujo nominal de hidrógeno	<900 kg/día	<2350 kg/día
Flujo nominal de hidrógeno	<10,000 Nm ³ /día	<26,111 Nm ³ /día
Potencia de entrada nominal	2 MW	5 MW
Área activa nominal	1250 cm ²	3000 cm ²

Características Electrolizadores PEM Modulares Giner Inc. Fuente: <http://www.ginerinc.com/electrolyzer-stacks>

- o ITM Power, UK, unos pocos m³/hora con 15 bar de presión con eficiencia superior a 70%. <http://www.itm-power.com>

Tecnología alta presión (más de 100 bar):

Este tipo de electrolizadores no necesita el compresor adicional, de alto costo, que sirve para abastecer tanques de almacenamiento, en vehículos por ejemplos.

- o Proton Energy Systems Inc en colaboración con Air Products, EEUU, desarrolla un módulo capaz de producir 150 kg por día bajo una presión de 350 bar.

- Mitsubishi Corp., Japón, desarrolla un módulo de producción de 30 m³/hora bajo 400 bar (HHEG/High - Compressed Hydrogen Energy Generator).

Electrolito de óxido sólido

La tecnología se está desarrollando en algunos laboratorios

- Advanced Ceramics Material Technologies Research & Development Company (CERAMATEC), EEUU, grupo internacional
<https://www.ceramtec.com>
- Idaho National Engineering and Environmental Lab., EEUU
<https://www.inl.gov>
- Comisariado para la energía atómica y las energías alternativas (CEA), en particular a través de su start-up Sylfen que desarrolla una tecnología flexible de celdas combustibles de óxido sólido reversible, es decir electrolizador y celda de combustible.
[http://liten.cea.fr/cea-tech/liten/Pages/Texte%20liten%20\(corporate\)%20plateformes/Sylfen.aspx](http://liten.cea.fr/cea-tech/liten/Pages/Texte%20liten%20(corporate)%20plateformes/Sylfen.aspx)
El sistema de Sylfen produce gas o electricidad y calor, según los costos de la energía y las necesidades de los usuarios. Es el resultado de 10 años de I+D del CEA, con más de 20 patentes. Se trata de un electrolizador de alta temperatura, entre 700°C y 800°C, totalmente reversible, se puede usar como celda de combustible. Existen versiones desde unas pocas decenas hasta cientos de kW. Fue pensado para uso en edificios.
<http://sylfen.com>
- FuelCell Energy, Inc., EEUU, produce celdas de combustible para aplicaciones industriales anunció en julio 2015 que empezaba el desarrollo de celdas de electrolisis de tipo óxido sólido, bajo apoyo del DOE.

Estaciones de reabastecimiento de hidrógeno

Datos de la empresa Hydrogenics:

Modelo	HRS 30-700	HRS 100-700	HRS 200-350/700
Electrolizador	HySTAT-15-10/30	HySTS-100-10	HyLYZER-200-10
Tecnología electrolizador	Alcalino	Alcalino	PEM
Potencia de entrada nominal	80 kW	500 kW	1 MW
Capacidad de producción diaria	30 kg/día	100 kg/día	200 kg/día
Presión de distribución	700 bar	700 bar	350 bar y 700 bar
Compresor	compresor 450 bar / compresor 850 bar		
Almacenamiento de hidrógeno	3 banks cascade system sized according to filling requirements		
Dispensadores	1 x 700 bar	1 x 700 bar	1 x 350 bar, 1 x 700 bar
Pureza de hidrógeno	hidrógeno grado Celda de combustible, 99.998% de acuerdo a ISO 14687		
Consumo AC estimado	68 kWh/kg	65 kWh/kg	65 kWh/kg
Tamaño	container 40 pies	2 container 40 pies	3 container 40 pies

Características Estaciones de reabastecimiento de hidrógeno Hydrogenics. Fuente http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/HYDROGENICS_RenewableHydrogen.pdf

Datos de la empresa ITM Power:

Modelo	HFuel60	HFuel180	HFuel360	HFuel1000
Flujo nominal de hidrógeno	25 kg/24h	80 kg/24h	165 kg/24h	462 kg/24h
Flujo nominal de hidrógeno	11 Nm3/h	37 Nm3/h	75 Nm3/h	210 Nm3/h
Presión de distribución	700 bar (350 bar opcional)			
Recarga de vehículos (24 hr)	5	16	33	92
Pureza de hidrógeno	hidrógeno grado Celda de combustible, 99.998% de acuerdo a ISO 14687			

Características Estaciones de Reabastecimiento de hidrógeno ITM Power. Fuente: <http://www.itm-power.com/product/hfuel>