

*“USO DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO
EN EL EJÉRCITO DE TIERRA”*



Dr. Emilio Nieto
Director, Centro Nacional de Hidrógeno – CNH2

**Prolongación de Fernando el Santo, s/n 13500 - Puertollano
(Ciudad Real, España)**

III Congreso Energía en las FAS, Marzo 2023

www.cnh2.es

INDICE

- Introducción CNH2
- Hidrógeno como vector energético
- Electrolizadores
- Almacenamiento
- Pila de combustible
- Uso del hidrógeno en bases permanentes
- Uso del hidrógeno en vehículos terrestres
- Uso del hidrógeno en vehículos aéreos y terrestres no tripulados
- Usos del hidrógeno en dispositivos para el combatiente
- Conclusiones

¡QUIENES SOMOS y QUE HACEMOS!

- **Centro Público de Investigación** creado en 2007 a través de un Consorcio entre el Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI) y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, al 50% cada uno.
- Está ubicado en Puertollano, Ciudad Real (Castilla-La Mancha).
- Está orientado al **desarrollo de las tecnologías** de hidrógeno y las pilas de combustible cubriendo toda la cadena de valor (laboratorios, bancos de ensayo, puestos de experimentación, pilas, sistemas de almacenamiento, ingeniería, seguridad, normativa...)

Desde 2007, hemos coordinado y participado en más de 45 proyectos financiados de I+D tanto nacionales como internacionales

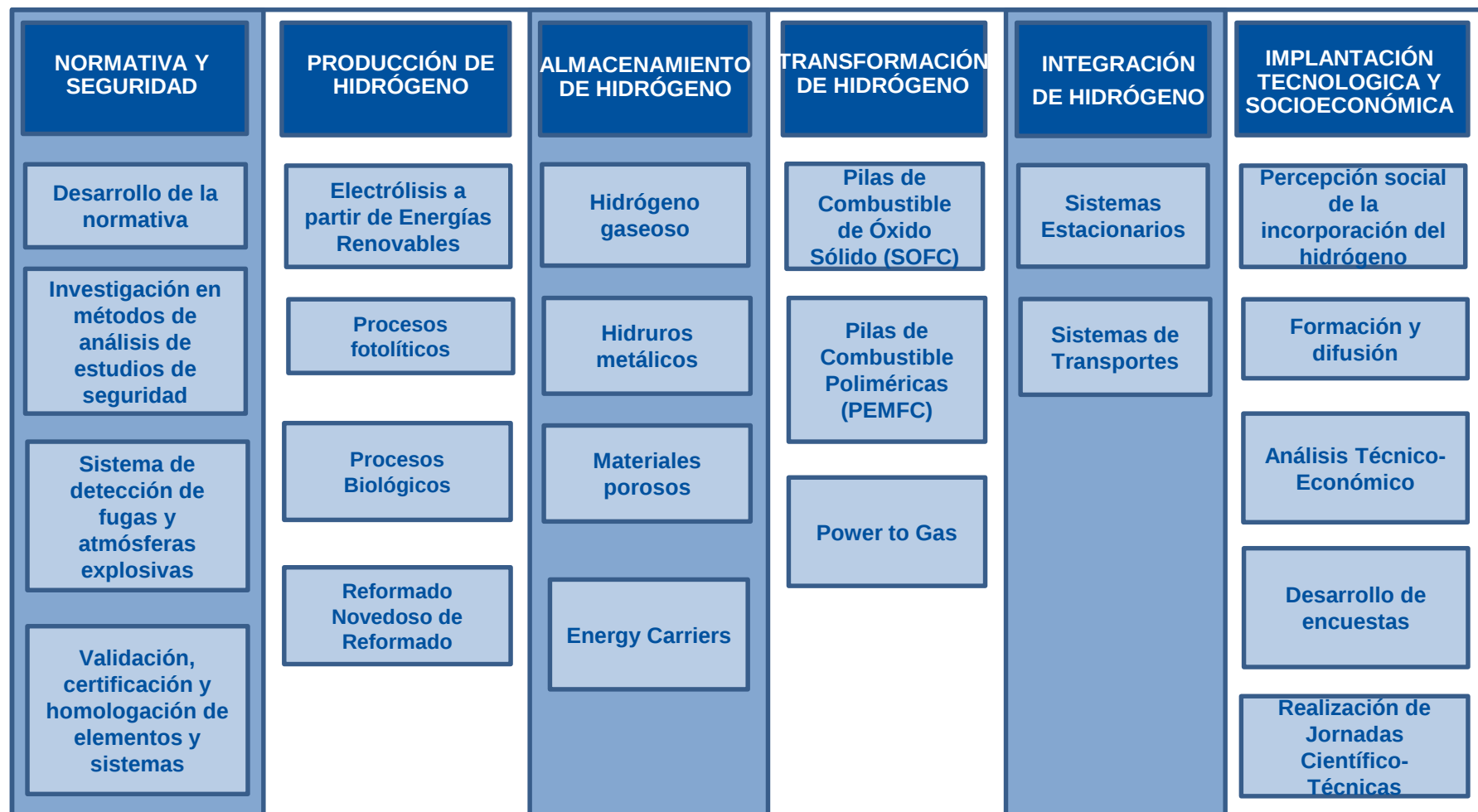


Sede CNH2 en Puertollano



Vídeo
CNH2

¡NUESTRA ESTRATEGIA!



¡NUESTRAS CAPACIDADES!

- I. Laboratorio de Electrólisis Alcalina
- II. Laboratorio de Investigación y Escalado de Tecnología PEM
- III. Laboratorio de Electrónica de Potencia
- IV. Laboratorio de Microrredes
- V. Laboratorio de Simulación
- VI. Laboratorio de Caracterización de Materiales
- VII. Laboratorio de Óxidos Sólidos
- VIII. Laboratorio de Fabricación (Fab-Lab)
- IX. Laboratorio de Almacenamiento
- X. Laboratorio de Testeo de Tecnología PEM
- XI. Laboratorio de Vehículos
- XII. Laboratorio de Integración Doméstica
- XIII. Laboratorio de Biotecnologías de Hidrógeno



Tronzadora



Torno paralelo



Cizalla



Soldadura por
resistencia



Centro de mecanizado 5 ejes



ESTADO DEL ARTE DEL HIDRÓGENO



HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO

1.



Es el elemento más abundante del Universo, pero no se encuentra libre en la Tierra.

No es un recurso natural, el hidrógeno hay que producirlo



2.

El hidrógeno puede producirse a partir de muy variados recursos (agua, recursos fósiles, biomasa, microorganismos, ...),...



... siguiendo diversos procesos de transformación (electrólisis, gasificación, reformado, fotoelectrólisis, fotobiólisis, ...)

Por la diversidad de recursos, la utilización del vector H_2 implica mayor seguridad de abastecimiento energético y mayor acceso a la energía.

Todos los procesos de transformación suponen un gasto energético, cuyos costes son asumibles (al igual que sucede con la electricidad), pero a diferencia de la electricidad, el hidrógeno es almacenable

Fuente: AEH₂

HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO

3. El almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno no presenta dificultades técnicas (comprimido, licuado, hidruros metálicos, compuestos químicos intermedios,...), pero **es caro**.



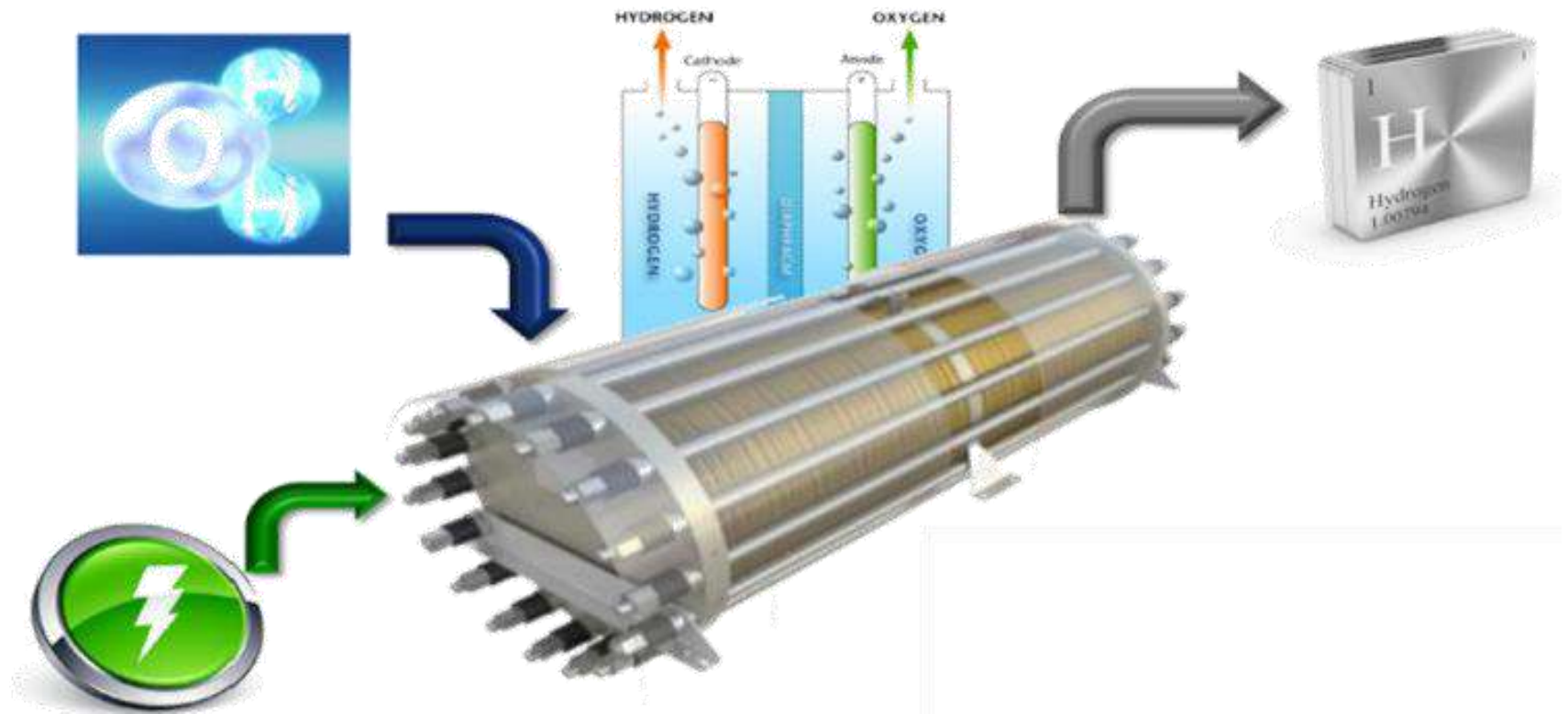
4. Para su utilización el hidrógeno puede combinarse con el oxígeno por procesos térmicos o electroquímicos para generar energía mecánica o eléctrica con una **emisión solo de vapor de agua**.

En su uso final el hidrógeno es intrínsecamente limpio y si se tiene en cuenta toda la cadena desde su producción al uso final, el hidrógeno como vector ofrece reducciones de emisiones de GEI.

Fuente: AEH₂

ELECTRÓLISIS

La electrolisis es un proceso electroquímico en el cual, a partir de electricidad y agua, se obtiene hidrógeno, oxígeno y calor debido a la descomposición de la misma.

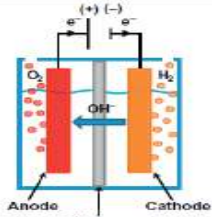
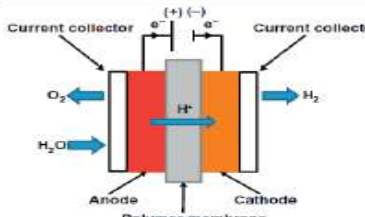
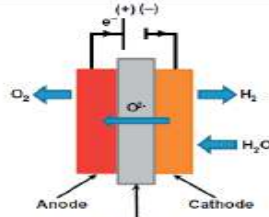


Fuente: AEH₂

ELECTRÓLISIS

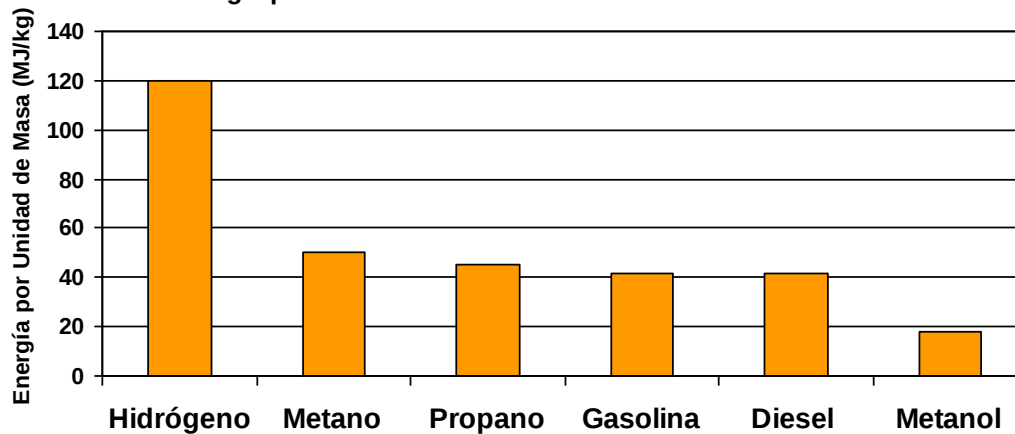
- Utiliza la electricidad para la ruptura de la molécula de agua, disponiendo de una gran versatilidad para ser integrada con las distintas formas de producción renovable.
- Funcionan como sistemas modulares.
- Posibilidad de gestión óptima de micro-redes y redes inteligentes.
- El hidrógeno producido es de alta pureza.
- Se trata de una tecnología disponible en el mercado con costes aceptables y eficiencias mayores que el resto de tecnología en desarrollo. Son más eficientes que los motores de combustión interna.



	ELECTRÓLISIS ALCALINA	ELECTRÓLISIS PEM	ELECTRÓLISIS SOEC
Semi-reacciones	Ánodo: $2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ Cátodo: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	Ánodo: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ Cátodo: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	Ánodo: $2\text{O}^{2-} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}^-$ Cátodo: $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-} + \text{H}_2$
Electrodos y catalizadores	Ánodo: Ni, Fe, óxidos metálicos Cátodo: Ni/Ni-Co, SR296	Ánodo: Ti + Ti/RuO₂, IrO₂ Cátodo: Grafito, Ti + Pt	Ánodo: Cerámicos (Mn,La,Cr), Ni Cátodo: Zr + Ni / CeOx
Medio separador	Diafragma (NiO, PAM, ZrO ₂ en PPS, usualmente Zirfon®)	Membrana (PEM)	Membrana (cerámica)
Tipo de electrolito	KOH (en torno al 32 wt%), NaOH (en torno al 18 wt%)	Electrolito polimérico sólido (PFSA, usualmente Nafion®)	Y ₂ O ₃ -ZrO ₂ , Sc ₂ O ₃ -ZrO ₂ , MgO-ZrO ₂ , CaO-ZrO ₂
Ión transporte	OH ⁻	H ⁺	O ²⁻
Temperatura (°C)	60 - 85	40 - 80	800 - 1000
Presión (bar)	< 30	< 35	1 - 5
Densidad corriente (mA/cm ²)	200 - 600	≤ 2000	≤ 2000
Consumo energ. (kWh/Nm ³ de H ₂)	4.3 - 5.0	4.2 - 4.7	3.2 - 3.7
Coste (€/kW)	1000 - 1500	1500 - 2000	Prototipos
Eficiencia global	60 - 70 %	70 - 80 %	85 - 95 %
Vida útil (horas)	> 100000	10000 - 50000	En investigación
Esquema			

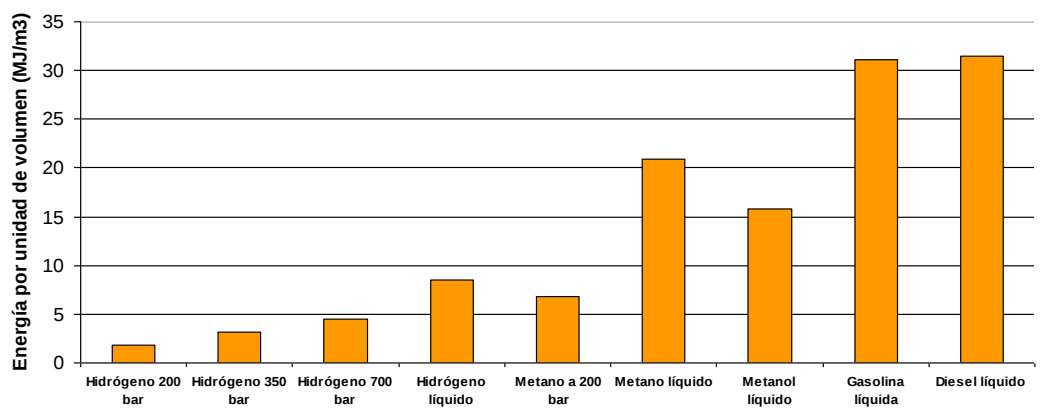
ALMACENAMIENTO

Energía por unidad de masa de diferentes combustibles



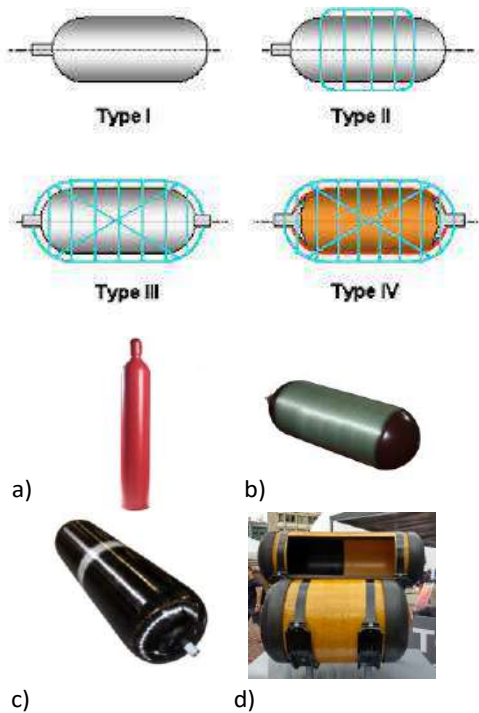
Hidrógeno	Metano	Propano	Gasolina	Diesel	Metanol
1 kg	2,40 kg	2,59 kg	2,78 kg	2,80 kg	6,09 kg

Energía por unidad de volumen de distintos combustibles en diferentes estados



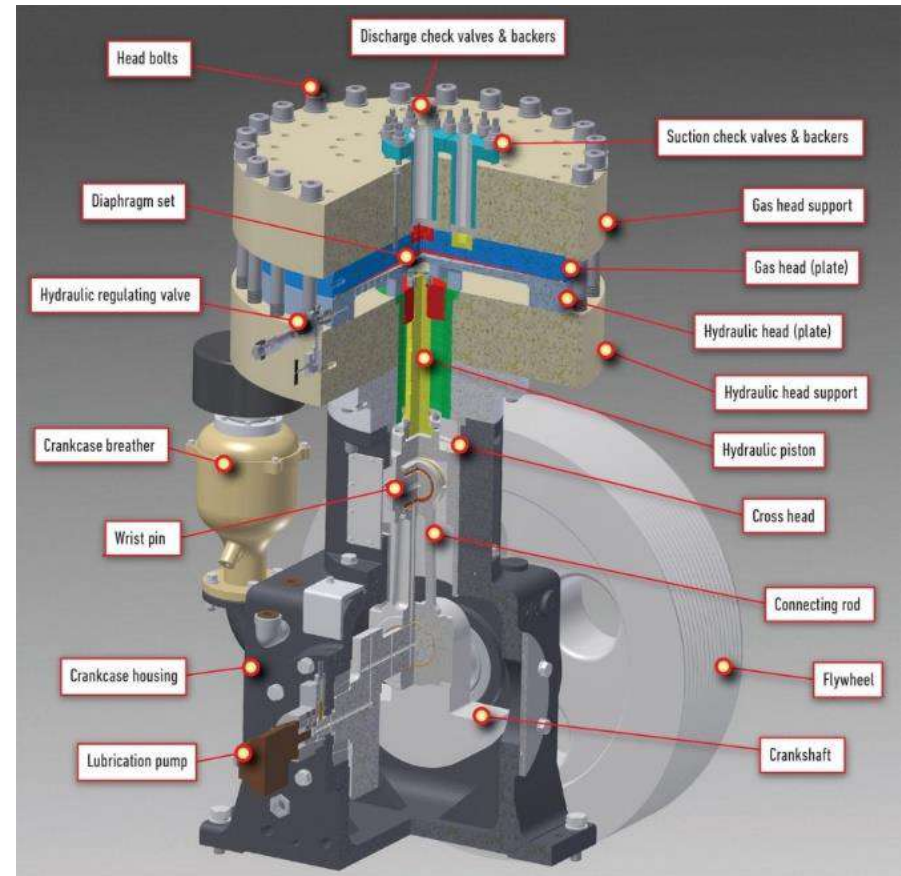
ALMACENAMIENTO

Almacenamiento a presión



Diferentes tipos de tanques:

- a) Tipo I
- b) Tipo II
- c) Tipo III
- d) Tipo IV



SEGURIDAD

- No son más peligrosas que lo son a día de hoy la tecnología de combustibles fósiles.
- Existen vehículos de hidrógeno con premios a vehículos más seguros de su categoría.
- A medida que se masifique el uso del hidrógeno como vector energético, se desarrollarán nuevos estándares de seguridad que complementarán a lo que existe actualmente.

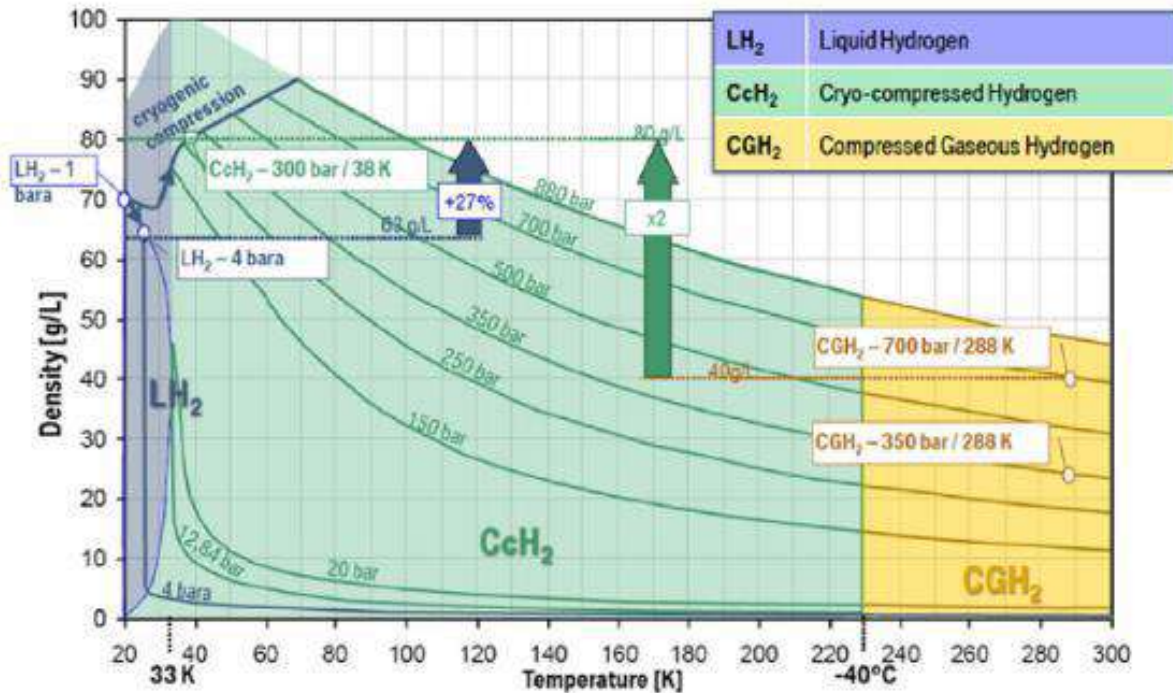
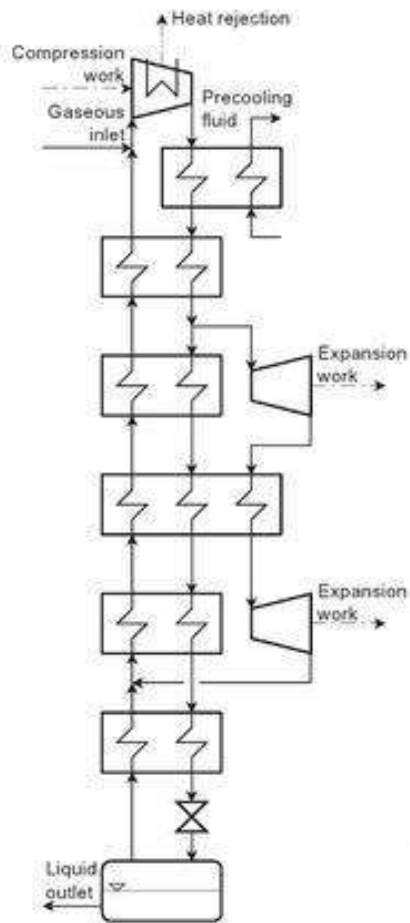
Ejemplos, ensayos tanques gas comprimido:

- Prueba de fuego (20 minutos expuestos)
- Prueba de presión (2,25 Ptrabajo)
- Prueba de ciclos (11.250 ciclos)
- Prueba de impacto (bala calibre 7,62 mm)
- Prueba de fugas



ALMACENAMIENTO

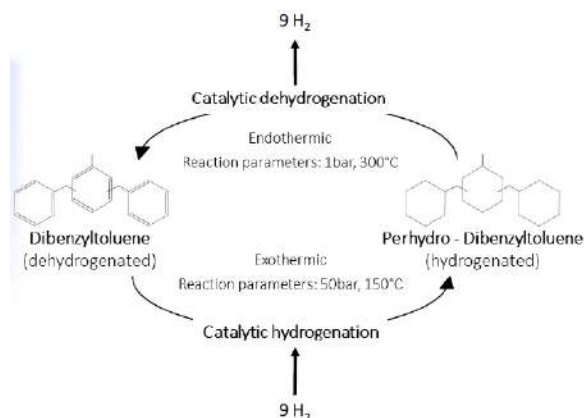
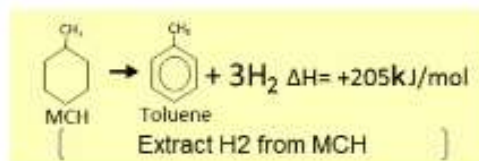
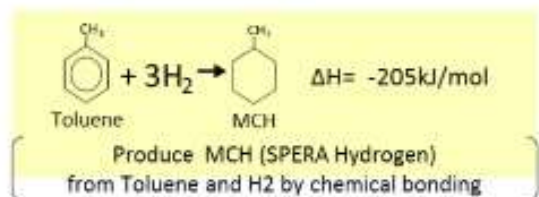
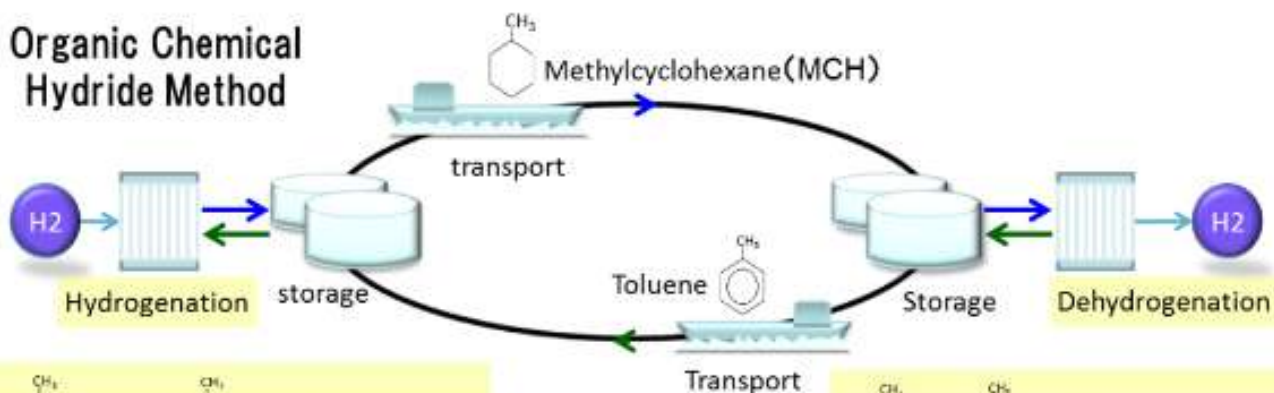
Hidrógeno Líquido



ALMACENAMIENTO

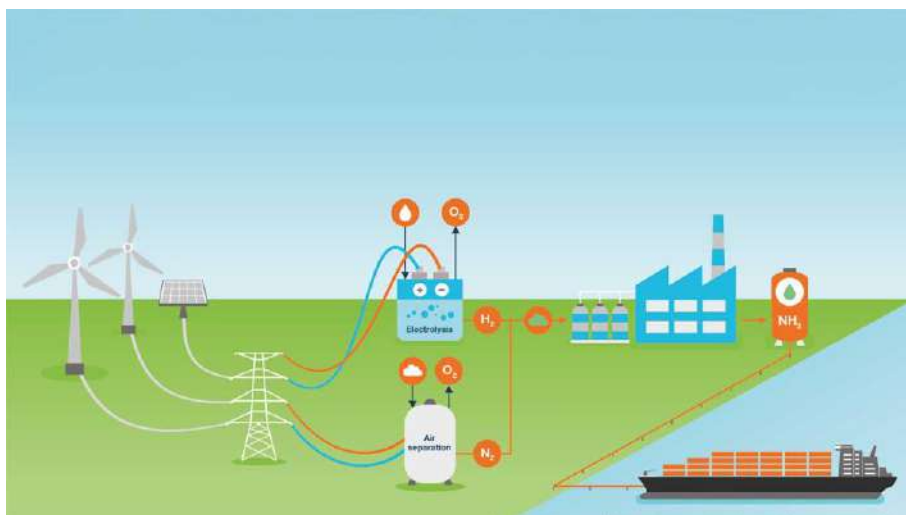
Líquidos orgánicos

Organic Chemical Hydride Method

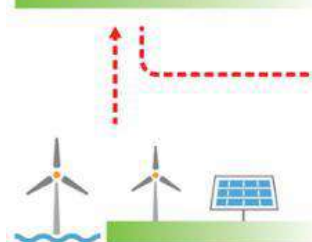
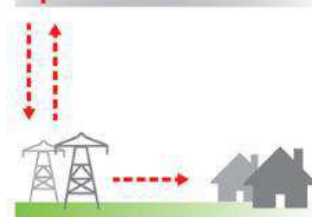


ALMACENAMIENTO

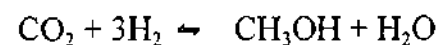
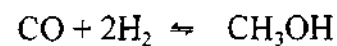
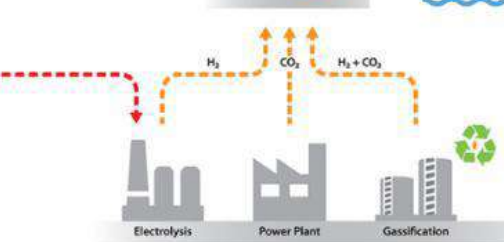
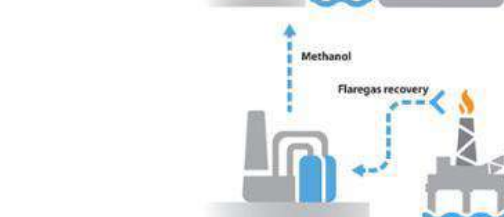
Amoniaco



Power to X

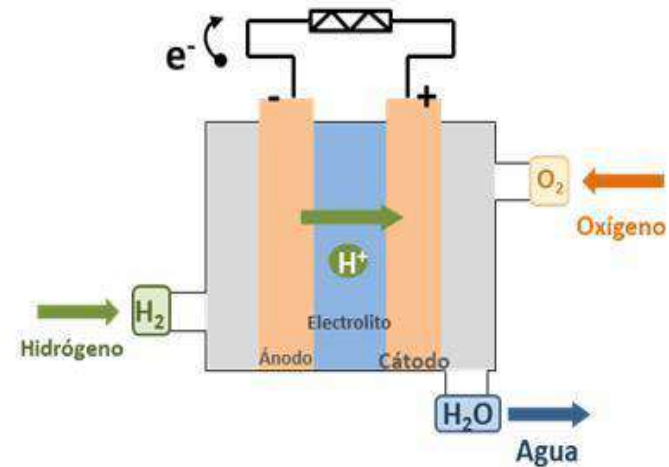


Metanol



PILA DE COMBUSTIBLE

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos capaces de transformar directamente energía química de un combustible (hidrógeno) en energía eléctrica, agua y calor.



Cátodo abierto



Cátodo cerrado



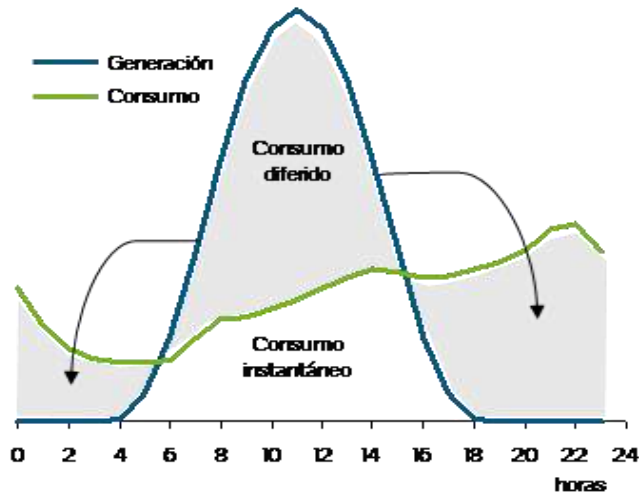
PILA DE COMBUSTIBLE

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Electrolito	Membrana de Polímero Sólido	Solución Alcalina	Ácido Fosfórico	Carbonatos Fundidos	Óxido Sólido	Membrana de Polímero Sólido
Temperatura Operación (°C)	60 - 80	100 - 120	200 - 250	600 - 700	800 - 1000	50 - 120
Rango potencia	5 - 250 kW	5 - 150 kW	50 kW - 11 MW	100 kW - 2 MW	100 - 250 kW	5 kW
Ventajas	Baja Temperatura Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Acepta H ₂ impuro	Reformado interno Cogeneración	Reformado interno Cogeneración	No necesita reformador de combustible
Aplicaciones	Transporte Portátiles Residencial	Espaciales	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Portátiles

H2 EN APLICACIONES MILITARES



USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES



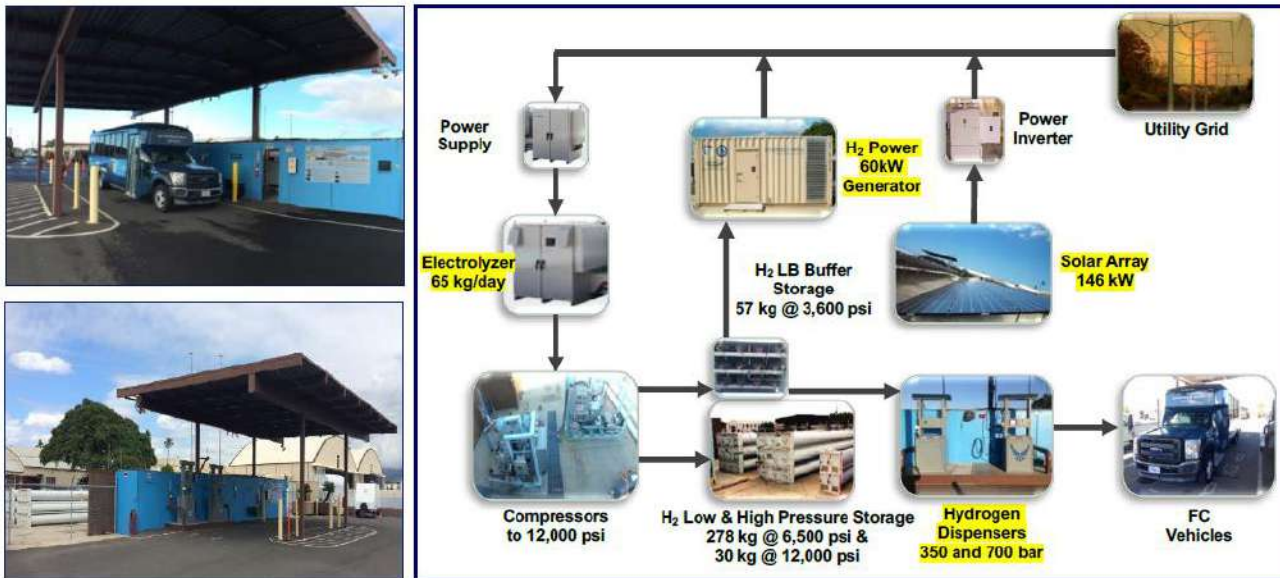
(Source: ARPA)

- Eliminación del grupo diésel por un sistema con pila de combustible
- Empleo del hidrógeno en repostaje de vehículos
- Obtención de agua y agua caliente sanitaria
- Climatización y calefacción

USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES

Antecedentes centro logístico con hidrógeno, Base Pearl Harbour

RENEWABLE H₂ INFRASTRUCTURE FOR THE MILITARY

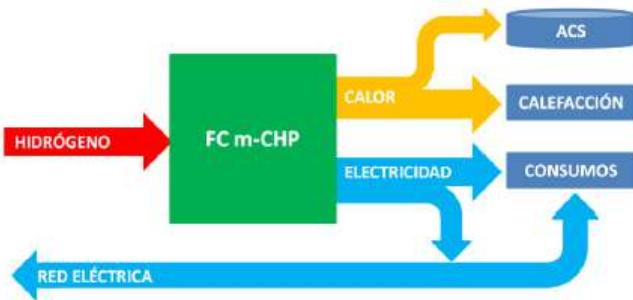


HCATT is pioneer of HFC in Hawaii, and has evolved over 20 years of HFC research and demonstration for both military and commercial applications in partnership with the Air Force Research Laboratory and the State of Hawaii. HCATT established the first renewable hydrogen station on a military base, at the Joint Base Pearl Harbor Hickam. The station produces up to 65 kg of H₂/day.

USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES



USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES

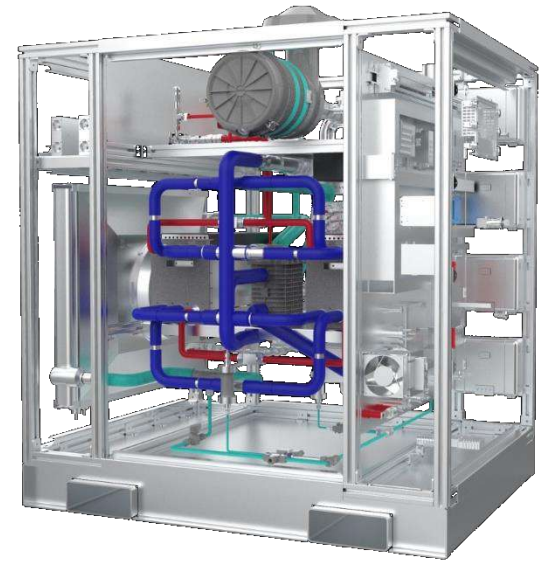


Proyecto Together y demostrador (CNH2)

javier.tobajas@cnh2.es

USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES

Proyecto grupo electrógeno, 20 kW (CNH2)

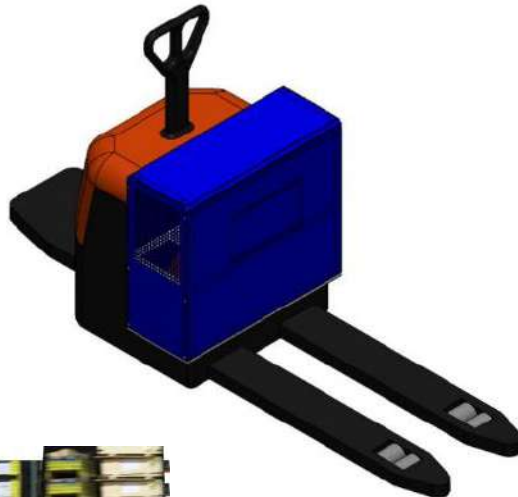


carlos.delacruz@cnh2.es

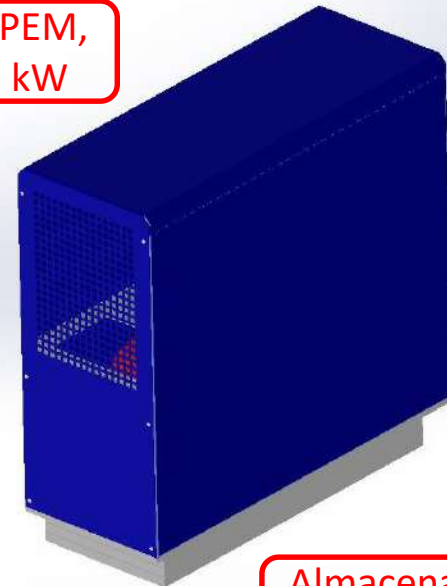
josemaria.olavarrieta@cnh2.es

USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES

Proyecto H2Login (CNH2)



Pila PEM,
1,7 kW



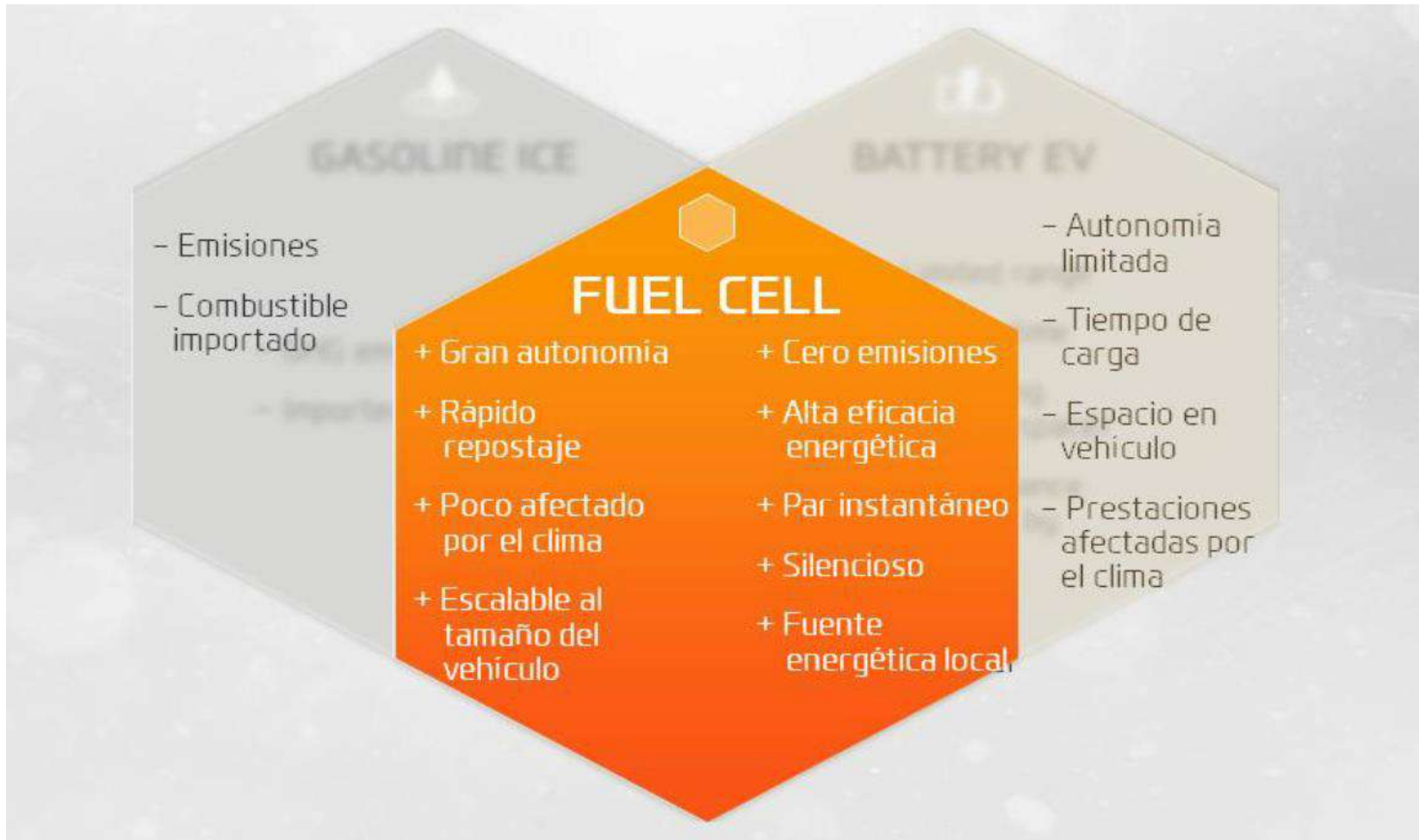
Almacenamiento,
440g H₂



Hyster-Yale

jesus.ruizdepascual@cnh2.es

USO DEL HIDRÓGENO EN VEHÍCULOS TERRESTRES



Source: Hyundai

USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES

Vehículos Tácticos Ligeros



**Chevrolet
Colorado ZH2**

Autonomía:
320km
Pila PEMFC:
80kW



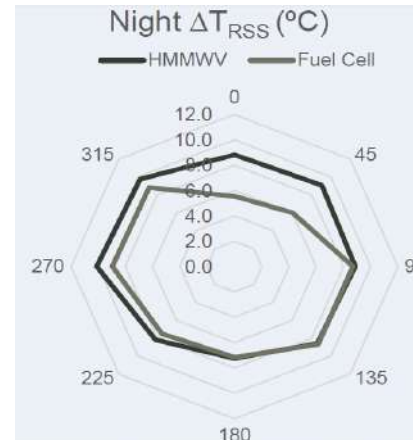
**Chevrolet
Silverado ZH2**

Nuevo
modelo



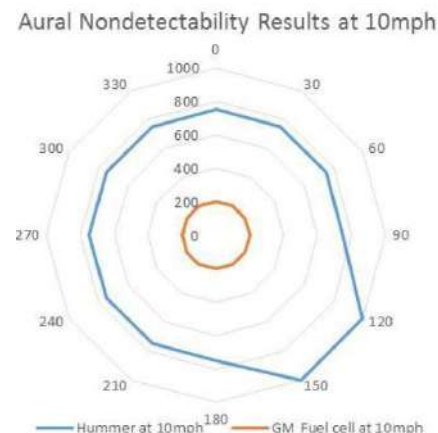
USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES

Vehículos Tácticos Ligeros



- Menor huella térmica
- Eliminación apoyo artillería
- Más modos de conducción
- Producción de agua potable
- Grupo electrógeno móvil

- Menor huella sonora (16 km/h)
- Invisibilidad operaciones nocturnas
- Mejores prestaciones mecánicas
- Poco mantenimiento
- Mayor fiabilidad



USO DEL HIDRÓGENO EN BASES PERMANENTES

Carros de combate y camiones pesados

Main Battle Tank (M1A2 SEPv3)
Weight: >66 tons
→ Est. >250 kg H₂



Off-Road Heavy Transport (HEMMT, M977...)
Weight: >35 tons
→ Est. >80 kg H₂



Family of Medium Tactical Vehicles (M1078...)
Weight: >14 tons
→ Est. >35 kg H₂



Joint Light Tactical Vehicle
Weight: >7.5 tons
→ Est. >25 kg H₂

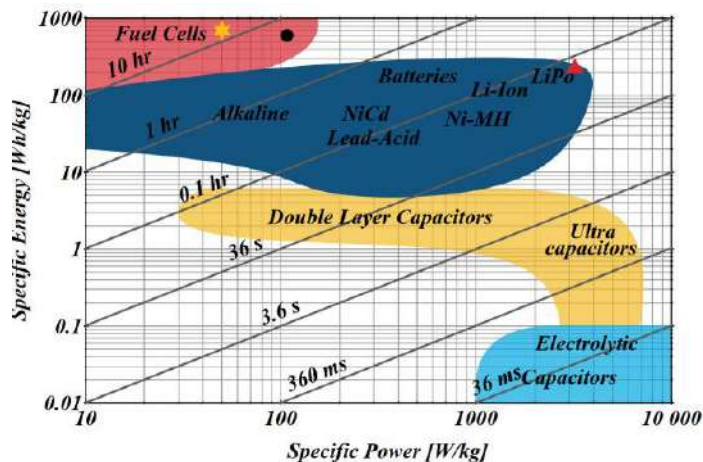


Over 30 Platforms weighing up to 100 tons
Approximate “extra space” onboard = None
Preferred weight change = reduction in weight
Acceptable range change = Increase only

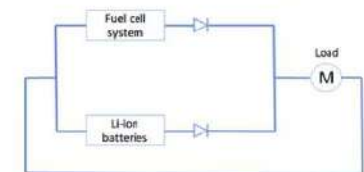
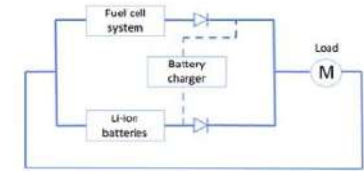
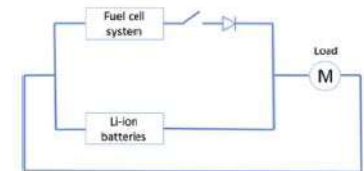
USO H₂ VEHÍCULOS AÉREOS Y TERRESTRES NO TRIPULADOS

Vehículos aéreos y terrestres no tripulados (VANT y UGV)

El hidrogeno como la mejor opción



Funcionamiento pasivo



USO H2 VEHÍCULOS AÉREOS Y TERRESTRES NO TRIPULADOS

Vehículos aéreos y terrestres no tripulados (VANT y UGV)



- Hidrógeno líquido
- 48h de autonomía
- 16 kg GTOW



- Hidrógeno 300bar
- 3,5h de autonomía
- 2,5 kg Payload



- Hidrógeno 300bar
- 10h de autonomía
- 3 kg Payload



- Hidrógeno líquido
- 4 días de autonomía
- 4,4 t GTOW



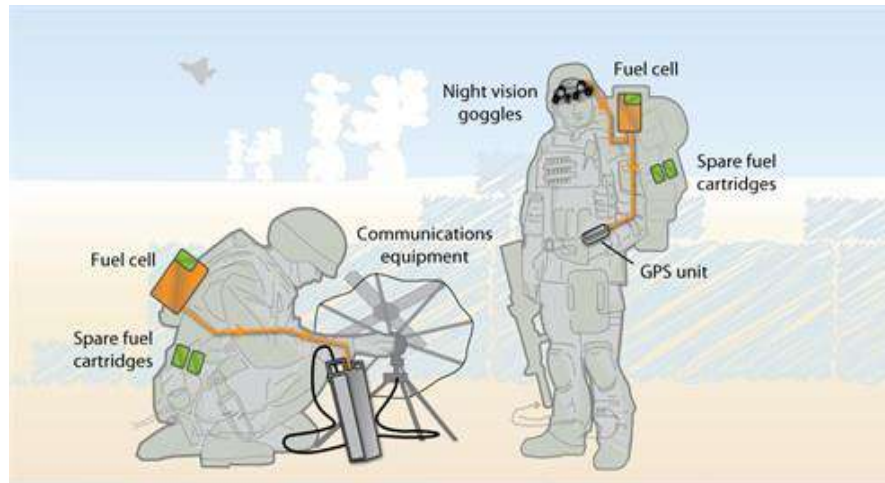
- Hidrógeno presión
- 3h de autonomía
- 16 kg GTOW



- Hidrógeno 700bar
- 640km de autonomía
- Basado en el Silverado ZH2

USO H2 DISPOSITIVOS DEL COMBATIENTE

Sistemas Portátiles



The fuel-cell-powered soldier

Ball Aerospace of Boulder is researching ways to replace heavy batteries with lightweight fuel cells for military electrical devices. At its smallest scale, a fuel cell could power an infantry soldier's night-vision goggles, global-positioning system, two-way radio and flashlight.

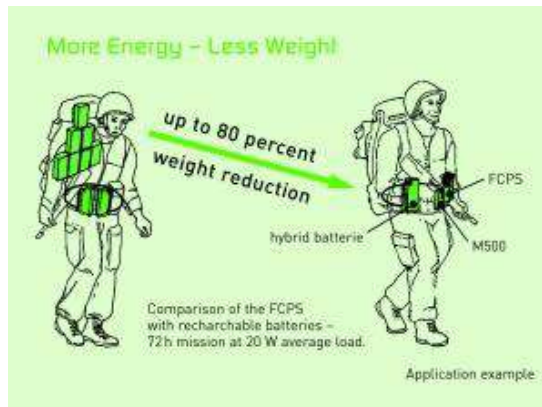
The personal-size 20-watt fuel cell

The newer, lighter cell, about the size of a video cassette, is suitable for infantry soldiers.



The mobile 50-watt fuel cell

A larger fuel cell would power military computers, satellite telephones and larger radios.



- Sistemas de reformado de metanol
- Capacidad 20W y 50W

- Reducción de peso

USO H2 DISPOSITIVOS DEL COMBATIENTE

Sistemas Portátiles



Source: BOC



- Grupo generador PEMFC 1kW



Source: SFC Energy

- Pila personal reformado de metanol
- Capacidad 20W y 50W
- Fácil de integrar en comunicaciones y UGV
- Tiempo superior a 24h de autonomía

CONCLUSIONES

- El uso del hidrógeno aplicado a aplicaciones militares **es una realidad** como se puede ver en los programas y desarrollos que esta liderando las fuerzas armadas de Estados Unidos.
- El hidrógeno como vector energético es un elemento **muy adecuado** para suministrar energía eléctrica a campamentos.
- El uso del hidrógeno como combustible alternativo en el ejercito permite **eliminar la huella térmica y sonora** produciendo solamente **agua** como residuo.
- Existe la **posibilidad** de que el **ejercito Español pueda disponer de vehículos de pila de combustible** con las consiguientes ventajas que ello supone en el corto plazo.



Source: Fuerza 35



emilio.nieto@cnh2.es



CNH2es



@cnh2_es @Emilio_Nieto_



CNH2 Centro Nacional del Hidrógeno Emilio Nieto, PhD



@cnh2_spain @eminiegal

www.cnh2.es