

## Prácticas Presenciales



*estudios abiertos*

**SEAS**

GRUPO SANVALERO



**“Procesos de Hidrógeno y  
Pilas de Combustible”**

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

### Área: (M144) Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

#### LUGAR DE CELEBRACIÓN

Instalaciones de Fundación Hidrógeno Aragón, en Parque Tecnológico Walqa  
Ctra N330A Km 566 CP:2197 Cuarte (Huesca)

Planta B, de 9:30 a 13:30 h.



## **ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible**

Profesor/a: Pablo Marcuello Fernández, Alfonso Arnedo Moncayo, Lorenzo Castrillo Maine.

### **DESCRIPCIÓN:**

---

Durante la jornada presencial se pondrá en práctica los conocimientos adquiridos, viendo de forma real los diferentes equipos que conforman el ciclo del hidrógeno, producción, almacenamiento y consumo del hidrógeno.

### **REQUISITOS:**

---

Se recomienda, para el mejor aprovechamiento de la práctica, haber finalizado la lectura y comprensión del curso completo. En su defecto es deseable realizarla cuando se hayan entendido y dominado los conceptos generales del curso.

### **PROPUESTA DE LA PRÁCTICA:**

---

9:30 -9:45 – Bienvenida e introducción a las actividades.

9: 45 – 10:30 – Visita Instalaciones.

10:30 – 11:45 – Prácticas Electrolizadores

11:45 – 13:00 – Práctica Pilas

13:00 – 13:30 – Puesta en común

### **OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:**

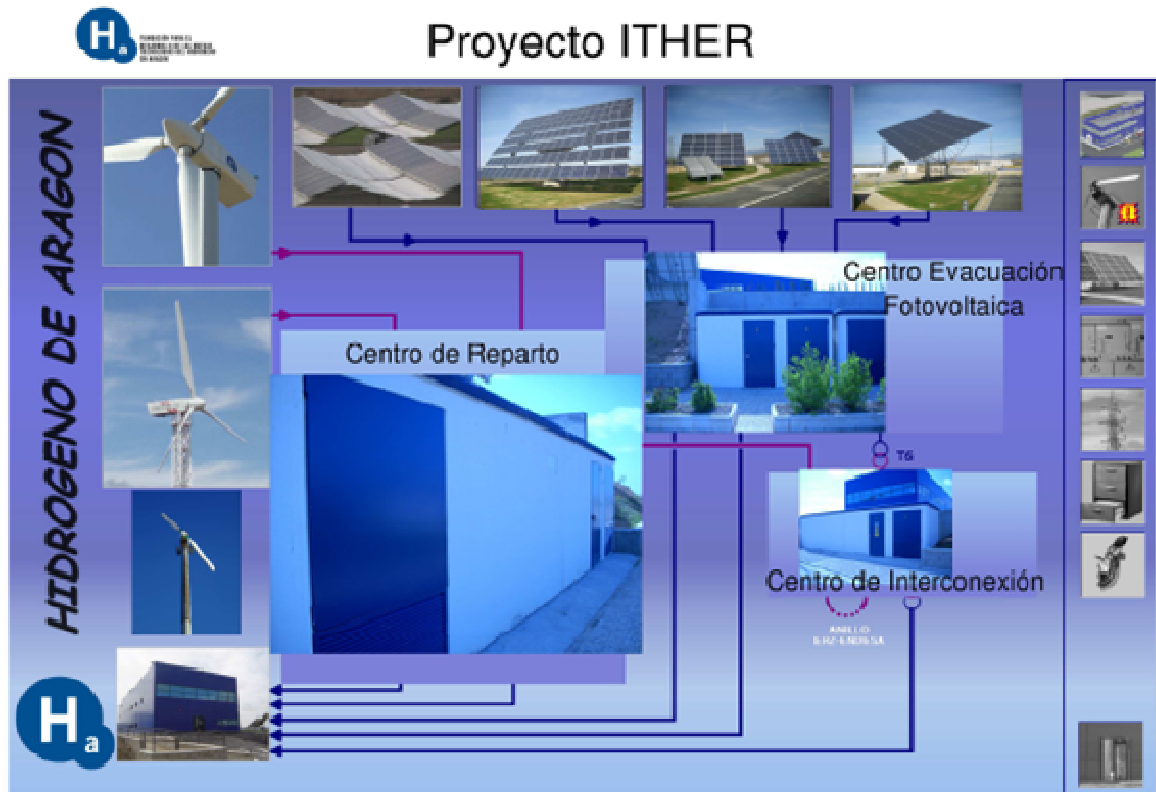
---

- Realizar una primera aproximación a la realidad de los equipos de Hidrógeno
- Conocer de manera directa el funcionamiento de una hidrogenera.
- Conocer de forma directa y práctica el funcionamiento de una pila de combustible.

# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

### 1 IHER: unifilar



### 2 Instalación en aislada de la FHa.

Las instalaciones en aislada, reciben su nombre al no estar conectadas a red, es decir, la energía que producen no se vierte a la red nacional sino que se utiliza in situ para pequeños consumos.

Dado que el consumo de la energía eléctrica no tiene por qué coincidir en el tiempo con la producción, son necesarios sistemas de almacenamiento. Los sistemas convencionales utilizan baterías y depósitos de agua caliente, sin embargo el uso del Hidrógeno abre nuevas e interesantes posibilidades.

Si en vez de almacenar esa energía en las baterías (que además tienen un ciclo de vida limitado) se utiliza para generar Hidrógeno (a través de la electrólisis del agua) obtenemos un combustible limpio que podemos utilizar para volver a generar energía in situ a través de una pila de combustible o para transportarlo fácilmente presurizado y producir electricidad en el lugar requerido.

Con ello, a las aplicaciones habituales de las instalaciones de energías renovables como sistemas de alumbrado, electrificación rural, bombeo de agua, sistemas de riego etc. habría que sumarles todo tipo de aplicaciones móviles como pequeños vehículos (bicis, motocicletas, maquinaria agrícola). Además se versatilizarían enormemente las ya existentes por la posibilidad ya comentada de transportar el Hidrógeno en

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

bombonas, de forma que no sería necesaria una instalación de paneles en cada punto de consumo sino simplemente una pila de combustible y un punto de suministro cercano. .

La fuente principal de energía será la energía solar tanto teólica como fotovoltaica. Siendo esta, una instalación para la investigación se ha procedido a instalar diversas tecnologías en los paneles fotovoltaicos, así mismo se ha dispuesto un pequeño aerogenerador para comprobar la integración de ambas energías en estos sistemas aislados.

Se han dispuesto toda la infraestructura necesaria para su correcto funcionamiento: inversores/cargadores, reguladores, baterías, etc.

La instalación fotovoltaica se ha complementado con un electrolizador capaz de producir hidrogeno con la energía sobrante en horas punta, un almacenamiento de hidrogeno en forma de hidruros metálicos y una pila de cogeneración para la producción de electricidad y calor en los periodos de carencia de energía o valle. Así mismo esta pila unida a un posible acopio externo de hidrogeno podría suministrar la energía necesaria para la vivienda en caso de falla de la instalación fotovoltaica.

En la actualidad los laboratorios de la instalación cuentan con los siguientes equipos y desarrollos.

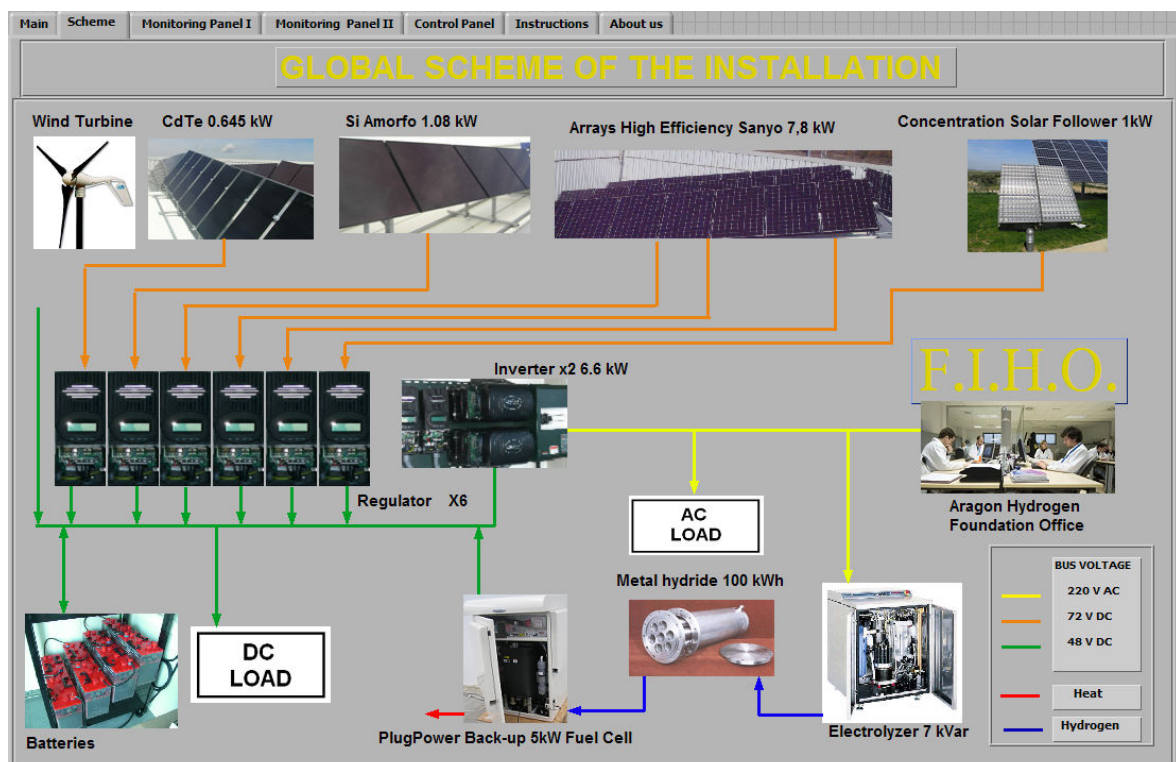
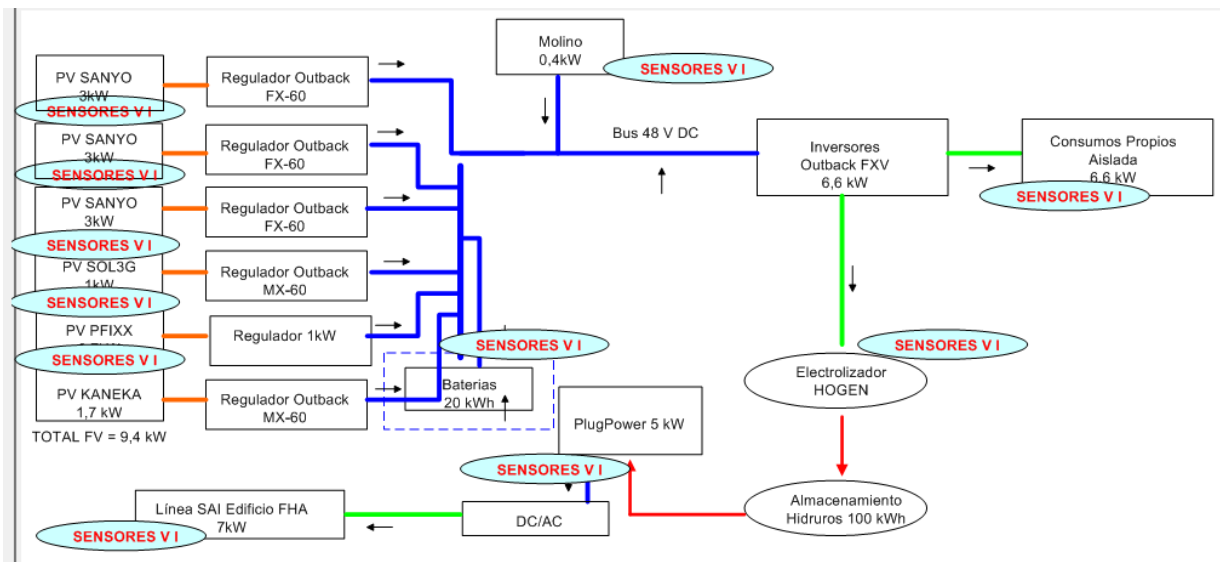


Diagrama instalación en aislada

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible



Sensores instalados para la motorización

### 3. Maquetas

#### 3.1. Fundamento teórico: Electrolizador PEM

Un electrolizador PEM produce la descomposición del agua en sus dos componentes: hidrógeno y oxígeno. El voltaje aplicado al electrolizador debe superar un valor determinado (“voltaje de descomposición” del agua) para que este efecto se produzca. Por debajo de este valor no se produce la descomposición. El objetivo de esta práctica es determinar la magnitud de este voltaje.

#### 3.2. Elementos y material necesario

- 1 Electrolizador PEM.
- 1 Fuente de alimentación DC con indicadores de tensión e intensidad.
- Diversos cables de conexión.

#### 3.3. Comienzo

Desconectar los cables del panel solar al electrolizador y conectar el electrolizador directamente a la fuente de alimentación DC tal como muestra la figura 1.1. Observar que no es necesaria la colocación de polímetros, puesto que la propia fuente de alimentación nos indica ya los valores de tensión e intensidad en el circuito. La salida de la fuente debería estar ajustada inicialmente a 0 V, para incrementarse posteriormente hasta un máximo de 2 V.

Ajustar la cantidad de agua destilada en los dos tanques de gas del Kit en el nivel 0 cm<sup>3</sup>, eliminando así completamente los gases que se hayan podido producir (ver

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

Manual de Instrucciones) y desconectar los cables de conexión del ventilador (carga eléctrica) a la pila de combustible.

Descargar la capacidad parásita del electrolizador colocando, durante 1 minuto aproximadamente, un cable entre los extremos positivo y negativo del electrolizador. Posteriormente, retirar el cable.

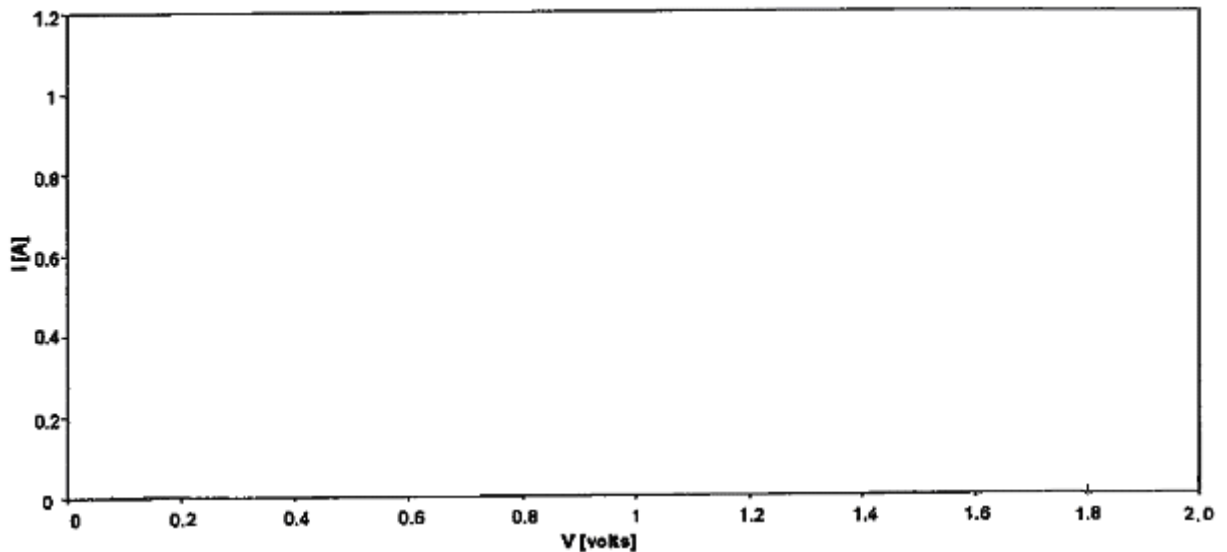
A continuación, encender la fuente de alimentación y aumentar gradualmente el voltaje de salida en incrementos de 0,2V; desde 0 a 2V, anotando el voltaje y la intensidad obtenidos en la tabla. Esperar 20 segundos entre cada par de medidas para obtener valores representativos. Observar a partir de qué voltaje comienza la producción de gas y marcarlo en la tabla.

V (voltios)	I (A)

Figura 1.2. Tabla de medidas.

Situar los pares de valores anotados en la Figura 1.3. La curva resultante es la característica tensión – intensidad del electrolizador, que se aproxima a dos líneas rectas que se cortan. Dibujar estas líneas a partir de los puntos marcados y marcar el punto de intersección ( $V_d$ ) de la línea de alta pendiente con el eje horizontal.

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible



La Figura 1.3 muestra la relación entre la corriente y el voltaje aplicado. A partir de la forma de la curva, es evidente que la corriente no empieza a circular hasta que se alcanza un voltaje determinado.

Solamente cuando empieza a circular una corriente medible, el agua comienza a descomponerse en hidrógeno y oxígeno. En la práctica realizada esto sucede a  $V$  (ver figura 1.2)

Sin embargo, el “voltaje de descomposición” es menor. Dicho voltaje viene dado por el punto de intersección de la línea de alta pendiente con el eje horizontal. Su valor es  $V_d = V$  (ver figura 1.3)

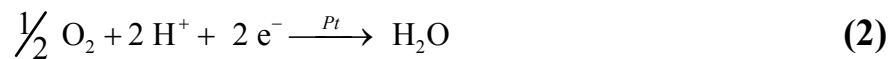
El “voltaje de descomposición” teórico es 1,23 V. Por debajo de este valor no se produce la descomposición. Sin embargo, en la práctica, este voltaje es mayor. Esta diferencia entre el valor teórico y el valor experimental depende de diversos parámetros, como por ejemplo: el tipo y composición de material de los electrodos, el electrolito y la temperatura, etc.

### **3.4 Fundamento teórico: Pila de combustible.**

Una pila de combustible es un reactor electroquímico que continuamente convierte la energía química de un combustible en energía eléctrica. Las reacciones en el ánodo y cátodo en la pila de combustible son los siguientes:



## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible



El hidrógeno (combustible) que se alimenta al ánodo de la pila de combustible (Figura 1), donde se oxida en el catalizador de platino (difusor / catalizador capa), la producción de electrones y protones,  $\text{H}^+$  (reacción 1). Los electrones fluyen a través de un circuito eléctrico externo y se utilizan para producir corriente eléctrica continua. Por otra parte, los protones son transportados desde el ánodo al cátodo, a través del electrolito (membrana). En el cátodo se alimenta de oxígeno, que reacciona con los protones transportados a través de la membrana y con los electrones del circuito eléctrico (reacción 2). El producto final de la reacción que se produce en el cátodo es el vapor de agua.

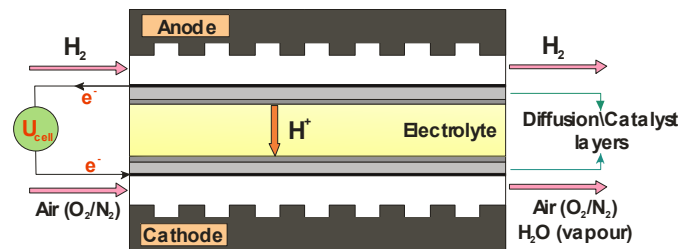


Ilustración 1: Funcionamiento pila PEM

La potencia eléctrica de salida de la pila depende de la resistencia de la carga que se conecte a la pila. El objetivo del siguiente ejercicio es determinar la resistencia óptima y por tanto, la corriente óptima para conseguir el mayor rendimiento.

### 3.5. Elementos y material necesario

- 1 Kit Solar Básico pila PEM H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 500 mW (ref. H-2010).
- 1 Polímetro.
- 1 Conjunto de resistencias de distintos valores o un potenciómetro.
- 1 Placa de conexiones.
- 1 Fuente de alimentación DC con indicadores de tensión e intensidad.
- Diversos cables de conexión.

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

- Las principales especificaciones de la pila de combustible del Kit son:
- PEMFC, Área de electrodos = 4 cm<sup>2</sup>; Potencia = 0,5 W; Voltaje generado en cortocircuito = 0,4 – 0,96 V DC.

Para poder realizar esta práctica, la pila de combustible debe estar bien humedecida, pero no “inundada”, ya que si hay demasiadas gotas de agua dentro de la pila de combustible, éstas pueden llegar a obstruir el flujo de gas, de modo que la celda puede no funcionar correctamente. Para evitar estos problemas, poner en marcha el Kit siguiendo exactamente el procedimiento descrito en el Manual de Instrucciones.

Una vez puesto en marcha, dejar que se produzca gas durante algunos minutos, manteniendo el ventilador (carga eléctrica) desconectado de la pila de combustible. Cuando el volumen de hidrógeno producido alcance los 20 cm<sup>3</sup> en el tanque graduado, interrumpir el suministro de energía al electrolizador.

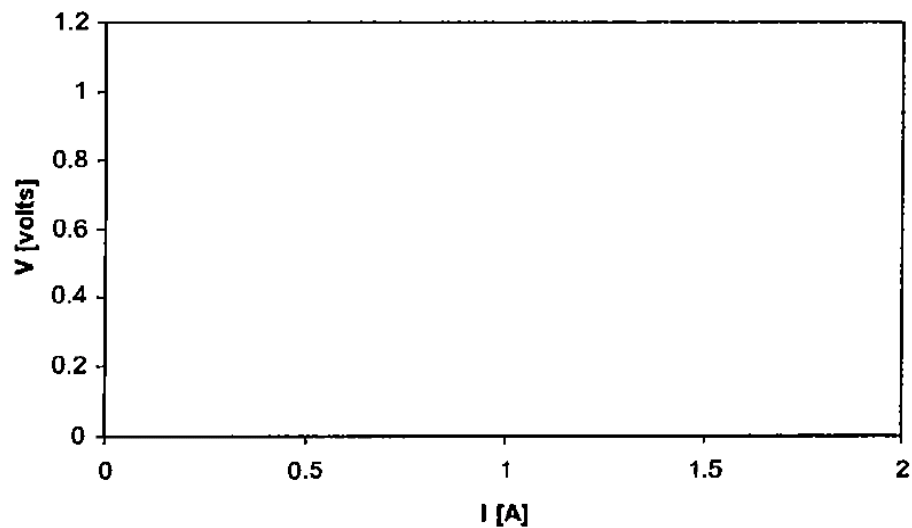
A partir de este momento, medir los valores de tensión e intensidad de la pila de combustible con diferentes resistencias de carga. A la hora de registrar estos valores, comenzar con la situación de circuito abierto ( $R = \text{Infinito}$ ) e ir conectando progresivamente con la ayuda de la placa de conexiones las distintas resistencias a la pila, desde la más alta a la más baja. Anotar el valor de tensión marcado por el polímetro y esperar 20 segundos entre cada par de medidas para obtener valores representativo

<b>R (<math>\square</math>)</b>	<b>V (voltios)</b>	<b>I (A) = V/R</b>	<b>P (W) = V x I</b>
Infinito			
330			
100			
33			
10			
3.3			
1			
0.5			

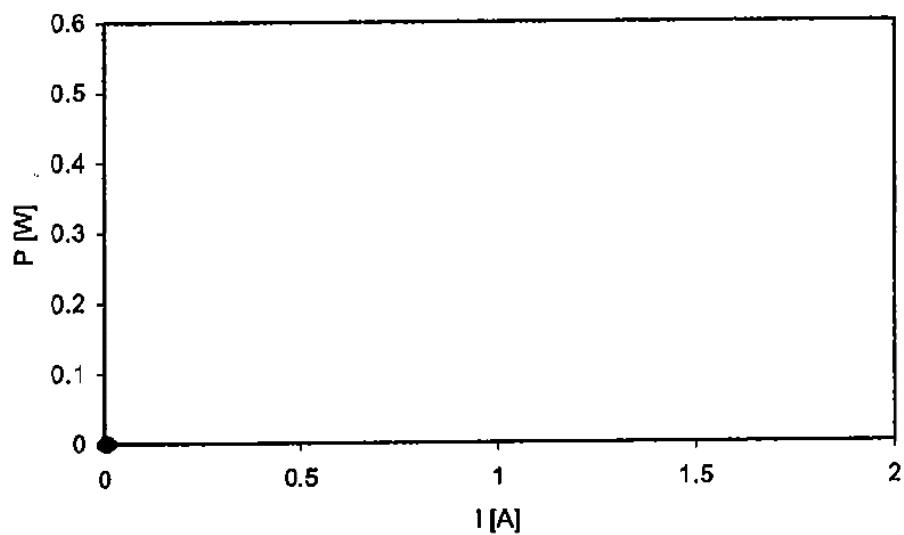
• Figura 1.2. Tabla de medidas.

Situar los pares de valores tensión-intensidad anotada en la Figura. La curva resultante es la característica tensión – intensidad de la pila de combustible.

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible



•  
.Situar los pares de valores potencia-intensidad anotados en la Figura 1.2. La curva resultante es la curva de potencia de la pila de combustible.



# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

## 4. Electrolizador PEM

Para la producción de Hidrógeno mediante electrólisis del agua se utiliza un electrolizador HOGEN 20 de la marca Proton Energy Systems, que se basa en la tecnología de membranas poliméricas. El equipo Hogen, permite generar hasta 0,53 m<sup>3</sup>/h (1.5 kWh aproximadamente) de Hidrógeno a temperatura ambiente y a una presión de descarga de 13,8 bar. Las especificaciones del electrolizador son las siguientes:

ESPECIFICACIONES DEL HIDRÓGENO		
REQUERIMIENTOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Producción Neta Máxima	0,53 Nm <sup>3</sup> /h	1,05 Nm <sup>3</sup> /h
Producción Máxima de Salida	13,8 barg	13,8 barg
Pureza Mínima	< 5 PPM Agua < 1 PPM Otros Gases	< 5 PPM Agua < 1 PPM Otros Gases

ESPECIFICACIONES DEL AGUA		
REQUERIMIENTOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Caudales	11,24 litros por 24 h	22,7 litros por 24 h
Calidad Mínima	ASTM Tipo II o Tipo I de Agua Desionizada	ASTM Tipo II o Tipo I de Agua Desionizada
Presión	20 to 60 PSIG (1,37 to 4,1 barg)	20 to 60 PSIG (1,37 to 4,1 barg)

ESPECIFICACIONES DE CARGA TÉRMICA		
REQUERIMIENTOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Carga Térmica del STACK	Inicio de vida: 3950 kJ Fin de vida: 7950 kJ	Inicio de vida: 7170 kJ Fin de vida: 15500 kJ

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS		
REQUERIMIENTOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Potencia Nominal	7,2 kVA	12,0 kVA
Energía Consumida por Volumen Producido	6,3 - 9,0 kWh / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	5,9 - 8,7 kWh / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>

ESPECIFICACIONES ACÚSTICAS		
REQUERIMIENTOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Nivel Sonoro	< 70 dBa	< 70 dBa

CONDICIONES DE OPERACIÓN		
REQUERIMIENTOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Rango de Temperatura Ambiente	5° C a 40° C	5° C a 40° C
Altitud	1.520 m	1.520 m
Humedad Relativa Ambiental	0 a 95% sin condensación	0 a 95% sin condensación

MEDIDAS		
DATOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Volumen	970 mm x 785 mm x 1056 mm	970 mm x 785 mm x 1056 mm
Peso	227 kg	227 kg

NORMAS Y CALIDAD		
REQUERIMIENTOS	HOGEN 20	HOGEN 40
Cumple la Normativa	Registro de la CE; En1050; EN50082-1; NFPA496; NFPA 50A; NEC500 Article 501; EN60204-1; EN1127-1; EN60079-10; NFPA79; EN292-2;	Registro de la CE; En1050; EN50082-1; NFPA496; NFPA 50A; NEC500 Article 501; EN60204-1; EN1127-1; EN60079-10; NFPA79; EN292-2;

Características Técnicas Electrolizador PEM

# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

## 5. Ficha Hidruros Metálicos

### Ovonic™ Solid-State Hydrogen Storage System

Model No. 85250GU Canister

**Preliminary Specifications**

Dimensions	=	9 cm O.D., 40 cm length (3.5" O.D., 15 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> " length)
Weight	=	7 kg (15 lbs)
Deliverable Hydrogen Storage Capacity	=	up to 85 grams, 940 std. liters (depending on operating conditions)
Maximum delivery rate	=	5.5 slm
Internal pressure	=	250 psig max at 30°C (86°F)
Container	=	DOT 3AL/TC 3ALM certified
Connection	=	various options
Safety devices	=	pressure relief certified to CGA CG-7 thermal relief device certified to CGA CG-10
Storage conditions	=	-29 to +54°C (-20 to +130°F)
Operating conditions	=	+10 to +75°C (+50 to +167°F)



Canister appearance may vary

Ilustración 2- Ficha técnica de los OVONICS

## 6. Pilas de combustible PEM reales

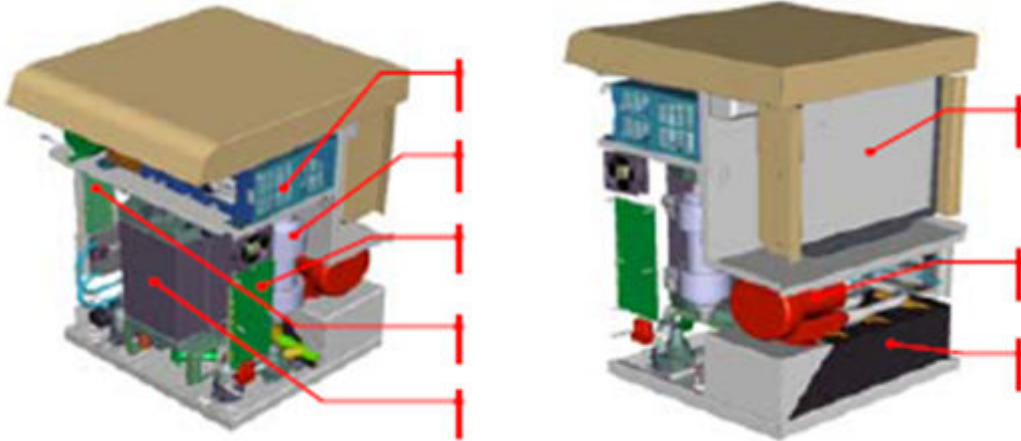
La pila de la que se dispone es una PlugPower de 5kW de potencia con las siguientes características.

PRODUCT CHARACTERISTICS			5T48	5B48	5U48	5T24	5U120
Performance	Net Output!	0 to 5,000W	✓	✓	✓	✓	✓
	Adjustable Output Voltage	- 46Vdc to -56Vdc	✓				
		+46Vdc to +56Vdc		✓	✓		
		+23Vdc to +28Vdc				✓	
Operating Voltage Range -	+125.9Vdc to 136.2Vdc					✓	
	- 42Vdc to - 60Vdc	✓					
	+42Vdc to +60Vdc	-	✓	✓			
	+21Vdc to +30Vdc				✓		
Operating Current Range -	+125.9Vdc to 139.8Vdc					✓	
	0 to 109 Amps	✓	✓	✓			
	0 to 218 Amps				✓		
Grounding	0 to 39.9 Amps					✓	
	Normal	✓	✓		✓		
	Floating			✓		✓	
Fuel	Gaseous Hydrogen	99.95% (dry)	✓	✓	✓	✓	
	Supply Pressure	80 +/- 16 psig	✓	✓	✓	✓	
	Fuel Consumption	40 slm at 3,000W	✓	✓	✓	✓	
Operation		75 slm at 5,000W	✓	✓	✓	✓	
	Ambient Temperature	-40C to 46C	✓	✓	✓	✓	
	Relative Humidity	0% to 95% non-condensing	✓	✓	✓	✓	
Physical	Altitude	-197ft to 6,000ft	✓	✓	✓	✓	
	Dimensions	44" x 26" W x 24"D	✓	✓	✓	✓	
	Weight	500 lbs	✓	✓	✓	✓	

# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

Ilustración 3 – Ficha técnica Plug Power

- Identifica los componentes principales de una pila combustible comercial.



La siguiente pila de la que se dispone es una Stack Ballard de 1.2 kW de potencia con las siguientes características.

## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

### **Funcionamiento:**

Potencia neta nominal	1200 W
Rango tensión CC	22 a 50 V
Voltaje nominal	26 V
Intensidad nominal	46 A

### **Combustible:**

Pureza	≥99,99% H <sub>2</sub> (vol)
Presión de suministro	0.7 a 17 bar
Consumo	≤18.5 SLPM(870 l/h)

### **Emisiones:**

Agua	≤ 870 ml/h máximo
Ruido	≤ 72 dBA a 1m

### **Datos físicos:**

Largo x ancho x alto	56 x 25 x 33 cm
Peso	13 kg

Identifica los componentes principales de una pila combustible comercial.

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

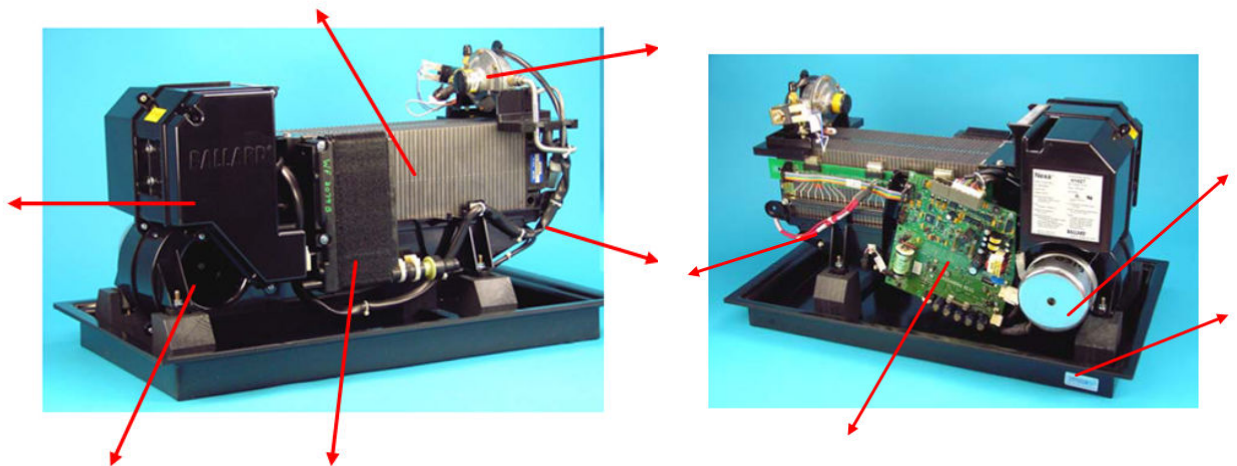


Ilustración 4 – Indicar las partes de la pila de combustible

### 7 Kart de pila de combustible: Formula Zero

¿Cómo funciona el kart?

El sistema completo convierte la energía de hidrógeno en energía mecánica y así se consigue el movimiento de ruedas.

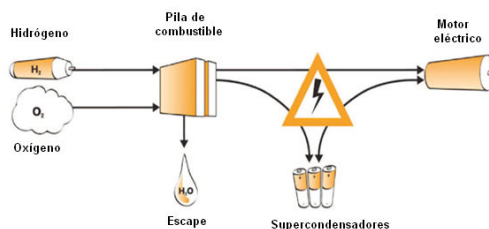
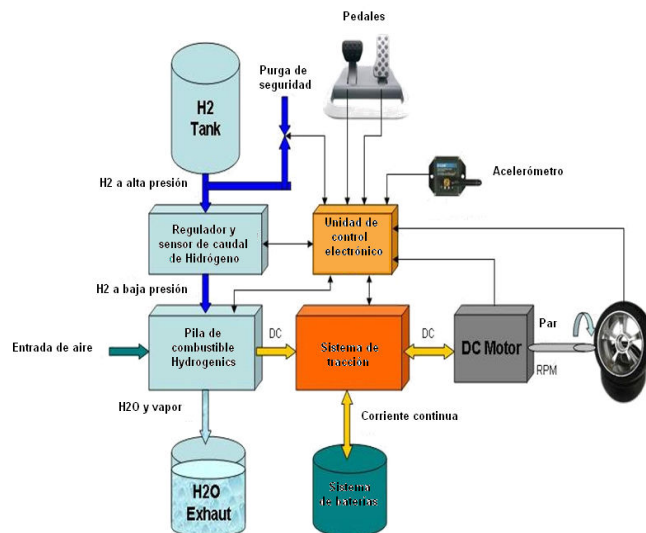


Ilustración 5. Funcionamiento sistema.

La pila de combustible convierte el oxígeno y el hidrógeno en electricidad y agua, el sistema que controla y gestiona esa energía, almacenándola en los supercapacitadores o bien utilizándola directamente para la propulsión. En los momentos en que el kart requiere la máxima potencia se suman la energía de la pila más la de los capacitadores para obtener picos de potencia. Los propios motores eléctricos funcionan como frenos, regenerando energía en las frenadas.



# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

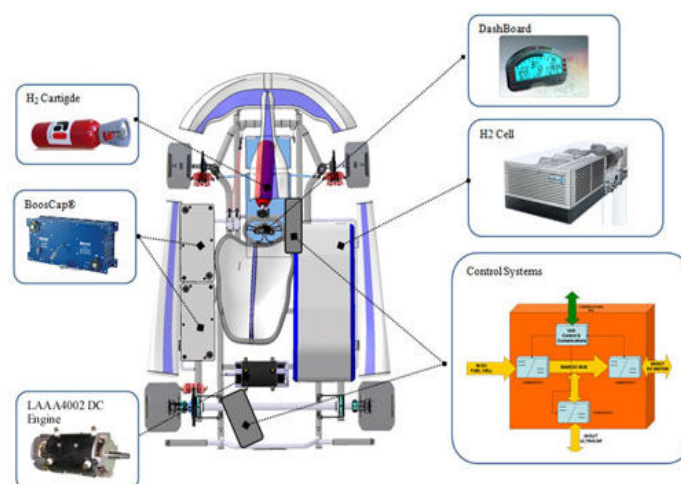


## Bloques del KART

Mientras, el agua es expulsada a la atmósfera, como único residuo. Tras 6 minutos de carrera se producen únicamente 0,3 litros de agua.

Principalmente son 3 los sistemas de los que se compone el Kart:

- Sistema del hidrógeno: bombona de H<sub>2</sub>, elementos de seguridad de H<sub>2</sub>, pila de combustible.
- Sistema electrónico: central de control, telemetría, visualización de datos en el volante, supercapacitores, motores eléctricos.
- Sistema mecánico: chasis, doble tracción trasera independiente, distribución de pesos central, volante, frenado.



## Posición sistemas



## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

### 8 Autobús de pila de combustible: Expo Agua 2008



MiniBus de pila de combustible de hidrógeno

DESCRIPCIÓN	Vehículo híbrido con pila de combustible de 10 kW, adaptación de un vehículo eléctrico comercial
CAPACIDAD DE ALMACENAJE	6 kg de hidrógeno a 200 bar de presión
AUTONOMÍA	200 km (10 h en uso urbano)
NÚMERO DE PLAZAS	22 plazas para viajeros con 9 asientos

#### BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA:

---

- Manual de asignatura SEAS.
- El presente guion de prácticas impreso.

#### MATERIALES NECESARIOS:

---

- No aplicable

## **ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible**

### **ASPECTOS A VALORAR:**

---

No aplicable.

### **DURACIÓN DE LA PRÁCTICA:**

---

4 horas.

### **SOLUCIÓN DE LA PRÁCTICA:**

---

No aplicable.