

# Prácticas Presenciales



*estudios abiertos*  
**SEAS**  
GRUPO SANVALERO



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

# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

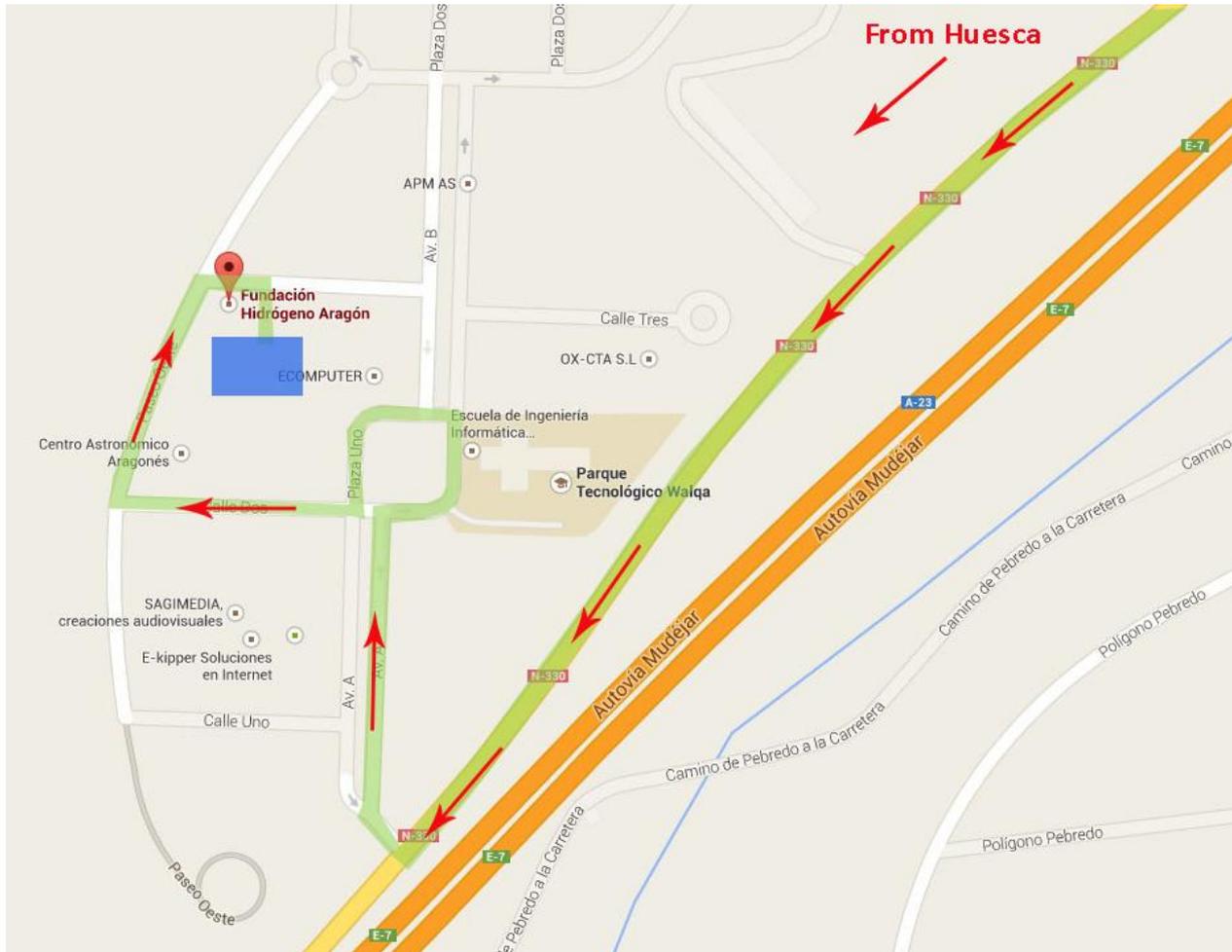
## Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

### LUGAR DE CELEBRACIÓN

Instalaciones de Fundación Hidrógeno Aragón, en Parque Tecnológico Walqa  
Ctra. N330A Km 566 CP: 22 197 Cuarte (Huesca)

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

Tlfn.: +34 974 21 52 58



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

Profesor/a: Rubén Canalejas, Esther Albertín Marco, Lorenzo Castrillo Mainé.

### **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** – Práctica 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. VISITA A LAS INSTALACIONES

#### 1.1 Proyecto IHER

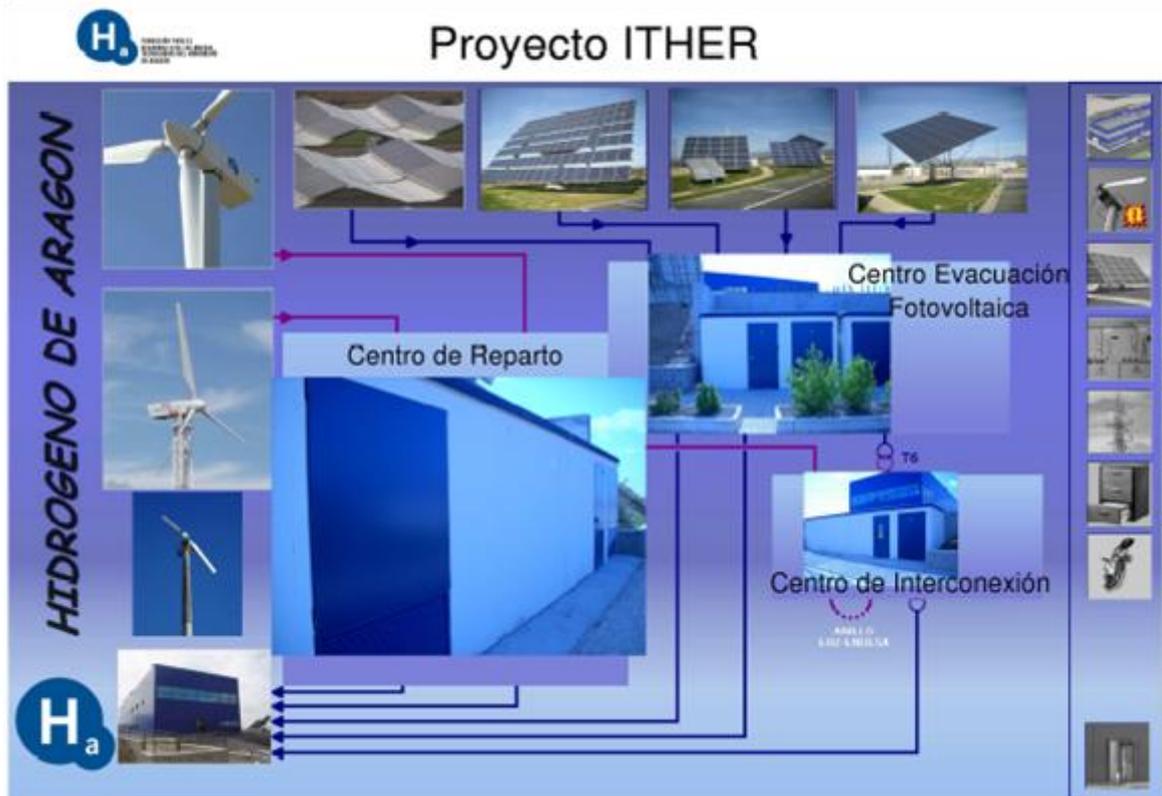


Figura 1. Esquema proyecto IHER.

#### 1.2 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

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

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 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 eólica 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.

# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

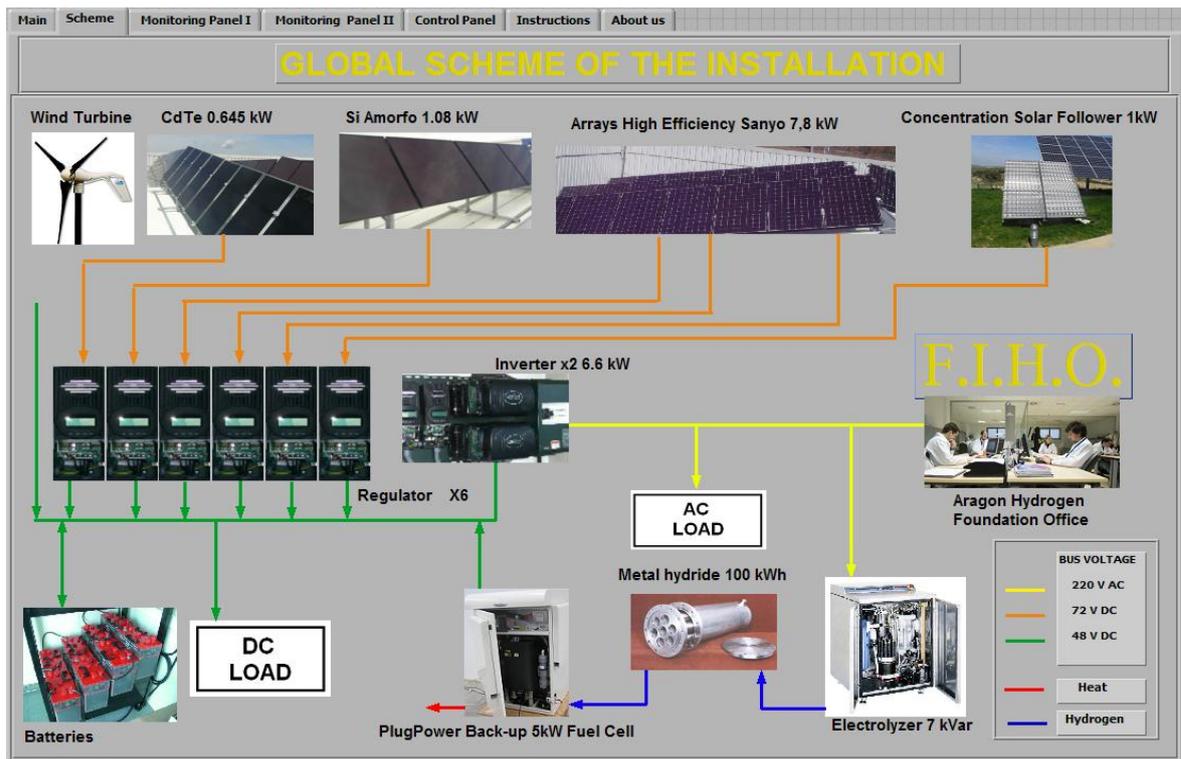


Figura 2. Diagrama instalación en aislada

## 2. PRÁCTICA ELECTROLIZADORES

En esta parte se verán en las propias instalaciones las diferentes etapas de suministro de hidrógeno:

- Producción
- Purificación
- Compresión y almacenamiento
- Dispensación

## 3. MAQUETAS

### 3.1 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 alimenta el ánodo de la pila (Figura 3), donde se oxida en el catalizador de platino (difusor / catalizador capa), y se disocia produciendo electrones y protones,  $H^+$  (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). El cátodo se alimenta de oxígeno, que reacciona con los protones transportados a través de la membrana y con los electrones del circuito eléctrico (2). El producto final de la reacción que se produce en el cátodo es el vapor de agua.

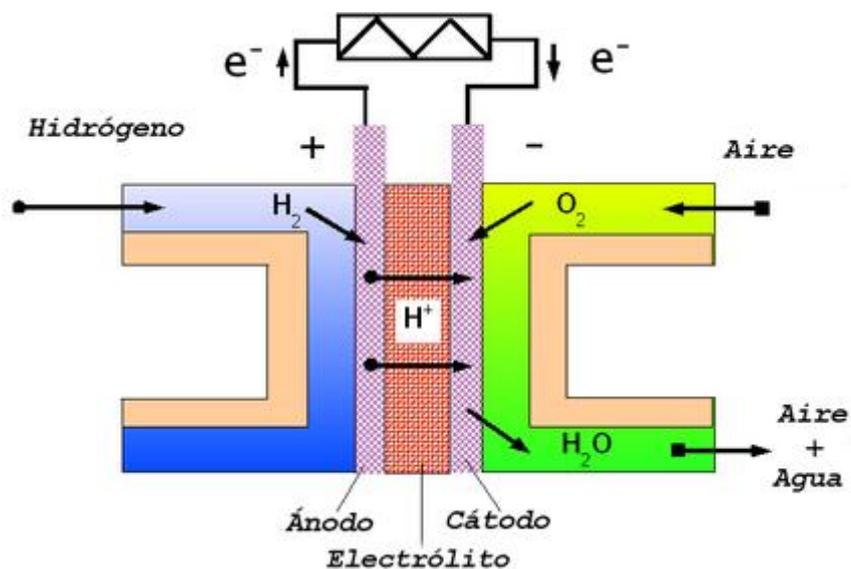


Figura 3. Funcionamiento de una pila de combustible.

La potencia eléctrica de salida de la pila depende de la resistencia de la carga que se conecte a la pila.

En función de la temperatura de operación y del tipo de electrolito se clasifican las pilas de combustible según la Figura 4.

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

	Temperatura	Potencia	Rendimiento	Electrolito
<b>PEMFC</b>	20-120°C	W – 12kW	55%	Membrana de intercambio de protones (NAFION)
<b>AFC</b>	65-220°C	5-150kW	55%	Electrolito alcalino (KOH)
<b>PAFC</b>	150-220°C	250W-200kW	32-45%/85%	Ácido Fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
<b>MCFC</b>	600-650°C	250kW-10MW	60%/85%	Sal de carbonatos fundidos (Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ó K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )
<b>DMFC</b>	50-120°C	25W-5kW	20%	Membrana polimérica
<b>SOFC</b>	800-1000°C	5kW-3MW	55%/70%	Cerámica

**Figura 4. Clasificación de las pilas de combustible.**

Como bien sabes, se llama pila de combustible al conjunto de todos los elementos que hacen posible la transformación del hidrógeno en electricidad, incluyendo los elementos reguladores y controladores de flujos y señales. A la integración del stack con todos estos elementos se le denomina balance de planta. Por ello, se pide que en la Figura 5 identifiques los componentes principales de una pila combustible comercial.

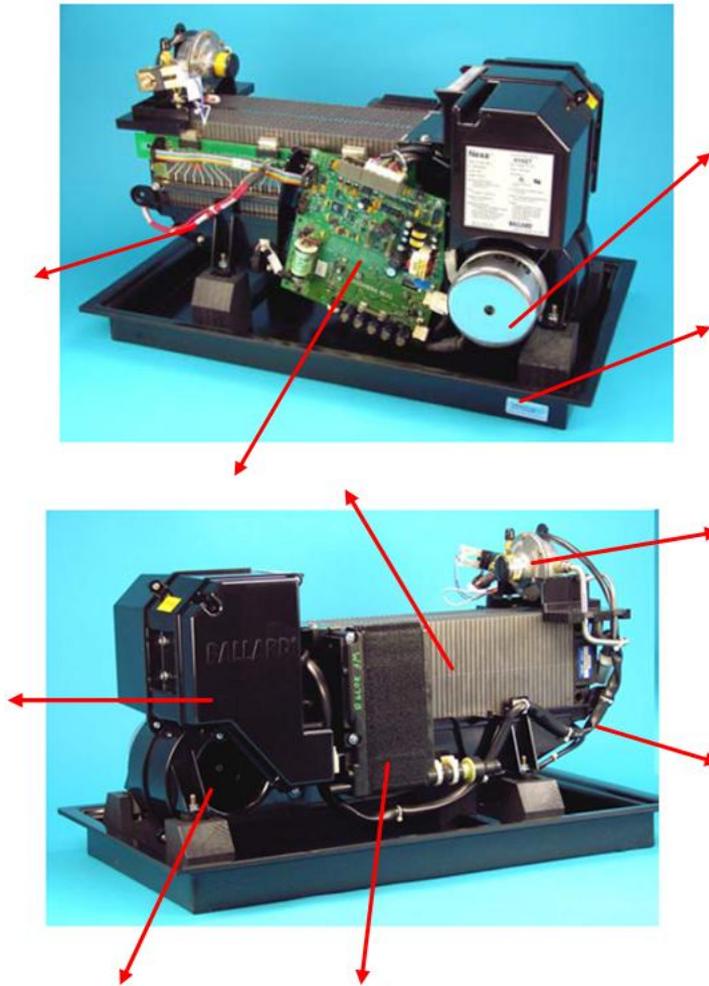


Figura 5. Indicar las partes de la pila de combustible

### 3.2 Fundamento teórico: Hidruros Metálicos

Los hidruros metálicos son una forma de almacenamiento exclusiva del hidrógeno, ya que éste puede reaccionar con distintos metales formando hidruros. Presentan una reacción reversible ya que una masa metálica puede ser cargada y descargada un número ilimitado de veces.

Este tipo de almacenamiento requiere bajas presiones y adecuadas temperaturas de operación (“manejables”). La limitación de este tipo de almacenamiento viene dada por el alto peso asociado al material absorbente, lo cual hace que su uso se limite a aplicaciones estacionarias. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de ficha técnica de 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

Figura 6. Ficha técnica de los OVONICS

### 3.3. Fundamento práctico: Maqueta

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.

#### 3.3.1. Elementos y material necesario

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

#### 3.3.2 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

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

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

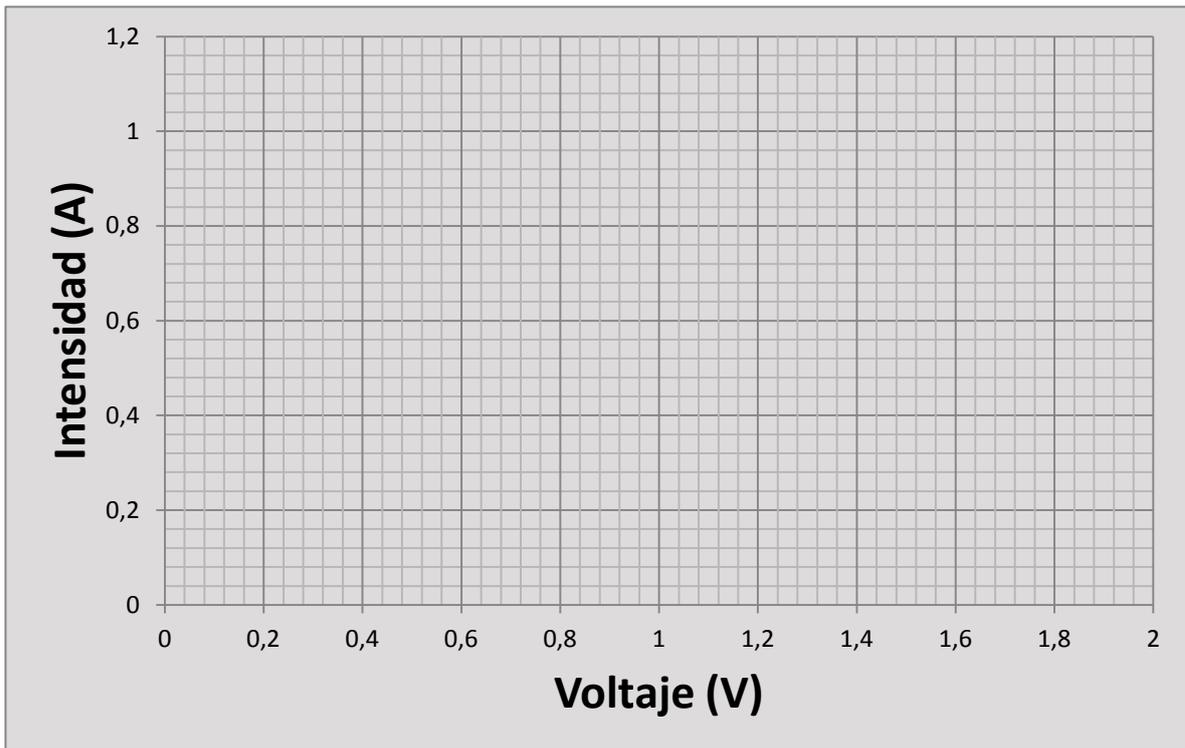
Descargar la capacidad parásita del electrolizador colocando, durante 1 minuto aproximadamente, un cable entre los extremos positivo y negativo del electrolizador. Posteriormente, retirar el cable.

A continuación, encender la fuente de alimentación y aumentar gradualmente el voltaje de salida en incrementos de 0,2 V; desde 0 a 2 V, 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 1.

**Tabla 1. Tabla de medidas.**

<b>V (voltios)</b>	<b>I (A)</b>

Situar los pares de valores anotados en la Figura 7. 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.



**Figura 7. Curva característica del electrolizador.**

La Figura 7 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.

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 7)

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.

# ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

## 4. APLICACIONES

### 4.1 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.

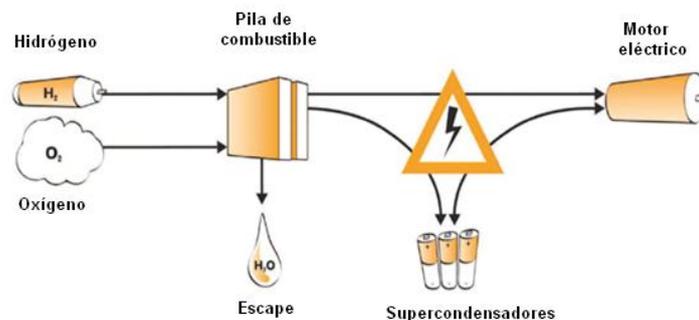


Figura 8. Funcionamiento sistema.

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 supercapacitores 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.

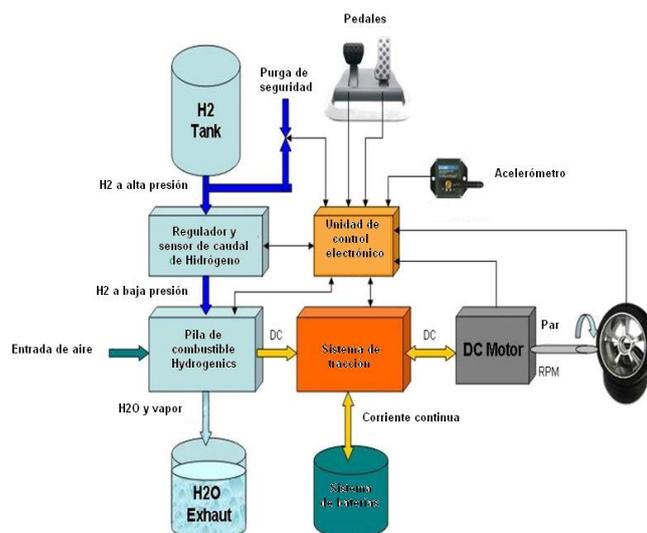


Figura 9. Bloques del KART

## ASIGNATURA: Procesos de Hidrógeno y Pilas de Combustible

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, supercapacitadores, motores eléctricos.
- Sistema mecánico: chasis, doble tracción trasera independiente, distribución de pesos central, volante, frenado.

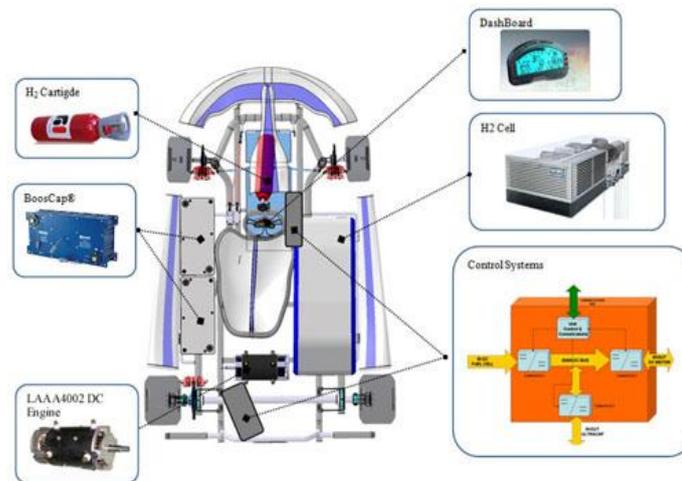


Figura 10. Posición sistemas

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



Figura 11. MiniBus de pila de combustible de hidrógeno.

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

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

### **BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA:**

---

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

### **MATERIALES NECESARIOS:**

---

- ♣ No aplicable

### **ASPECTOS A VALORAR:**

---

No aplicable.

### **DURACIÓN DE LA PRÁCTICA:**

---

4 horas.

### **SOLUCIÓN DE LA PRÁCTICA:**

---

No aplicable.