

## Sistema Híbrido de Almacenamiento (H<sub>2</sub> y baterías) para instalación aislada

Lorién Gracia, Pedro Casero

Fundación Hidrógeno Aragón, Parque Tecnológico Walqa, Ctra N-330ª, km 566. 22197 Huesca, España

**RESUMEN:** *El objetivo principal de este documento es mostrar la metodología seguida para el desarrollo y dimensionado de un sistema de almacenamiento energético compuesto por baterías e hidrógeno, el cual será producido por un electrolizador PEM, almacenado en tanques de hidrógeno presurizado a distintas presiones y reconvertido en energía eléctrica por una pila de combustible PEM. Esto garantizará que el sistema aislado de red en el cual se integran estas tecnologías, pueda mantenerse su modo de operación de forma autónoma e innovadora durante un largo periodo de tiempo.*

*La producción de hidrógeno se realizará mediante energía solar fotovoltaica, caracterizada por su gran dinamismo, por lo que el desarrollo del sistema híbrido es de gran importancia. Tanto el electrolizador como el sistema de control de la instalación requieren de continuo suministro de energía, de modo que cuando no exista recurso solar, el sistema híbrido entrará en funcionamiento y proporcionará energía de forma óptima y eficiente, garantizando un suministro continuo de hasta cinco días y con ello, demostrando la elevada autonomía del sistema aislado.*

*Este estudio forma parte del proyecto Ely4Off, de financiación europea, el cual pretende demostrar la viabilidad de un sistema que integre correctamente energías renovables con producción de hidrógeno por electrolisis del agua, totalmente aislado de red, desarrollando para ello prototipos de stack y convertidores DC/DC innovadores y dinámicos.*

**ABSTRACT:** *The main objective of this paper is to demonstrate the methodology followed for the development and sizing of an energy storage system formed by batteries and hydrogen, which will be produced by a PEM electrolyser, stored in pressurized hydrogen tanks at different pressure and reconverted in electrical energy by a PEM fuel cell. This will guarantee that the off-grid system in which these technologies are integrated can maintain the way of operation in an autonomous and innovative way for a long period of time.*

*The production of hydrogen will be carried out by photovoltaic solar energy, characterized by its great dynamism, so the development of the hybrid storage system is of great importance. Both the electrolyser and the control system require a continuous power supply, so that when there is no solar resource, the hybrid system will start working and will provide the energy in an efficient and optimum way, ensuring the continuous supply up to five days and thereby, demonstrating the off-grid high autonomy.*

*This study is part of the Ely4Off project, of European funding, which aims to demonstrate the viability of a system that integrates correctly renewable energies with hydrogen production by water electrolysis, completely off-grid, developing innovative and dynamic stack and DC-DC converters.*

**Palabras clave:** *electrolizador PEM, electrólisis del agua, aislada de red, hidrógeno, renovable*

**Keywords:** *PEM electrolyser, water electrolysis, off-grid, hydrogen, renewable*

### 1. INTRODUCCIÓN

Hoy día, uno de los principales medios para alcanzar los objetivos propuestos de la UE en la reducción de agentes contaminantes es la producción de energía mediante fuentes renovables, tanto en localizaciones aisladas de la red como conectadas a esta. Su utilización conlleva cierta problemática, debido a su estacionalidad y dependencia de los agentes meteorológicos, lo que causan periodos de exceso y carencia en la producción, por lo que se debe llevar a cabo un

control especial para obtener el mayor rendimiento posible.

De esta necesidad surge la posibilidad de la utilización de hidrógeno como almacenamiento energético. La generación de hidrógeno mediante la electrólisis del agua es actualmente una de los métodos que más perspectivas de futuro tiene debido a su funcionalidad y dinamismo.

Por tanto, el objetivo es desarrollar un sistema que genere hidrógeno limpio mediante energía fotovoltaica, que se utilice a la vez como almacenamiento de energía y como producto para un cliente final, y que sea capaz de actuar de forma

autónoma y sin conexión a la red eléctrica. Un estudio previo de los elementos del sistema es de especial importancia para este proyecto, ya que, al tratarse de un sistema aislado de la red, su correcto dimensionado e integración supone una tarea llena de desafíos innovadores.

Los objetivos propuestos por la UE para el proyecto Ely4Off en este ámbito se presentan a continuación [1]:

**Tabla 1.** Indicadores Clave de Rendimiento para el 2018

<i>Objetivos</i>	<i>Valores</i>
efficiency stack and system (kWh/kg)	42 - 50
efficiency (kWh/m <sup>3</sup> )	4
stack lifetime (h)	**
stack lifetime (years)	8
system lifetime (h)	**
system lifetime (years)	20
efficiency degradation (% year 8000h)	2
availability (h/year)	**
availability (%)	**
CAPEX (M€/t/d)	6
CAPEX (EUR/kW)	**
Stack size (kW)	50
stack capacity (Nm <sup>3</sup> /h H <sub>2</sub> )	>13
Current density (A/cm <sup>2</sup> )	1
Output pressure (bar)	20
Operating temperature (°C)	60
H <sub>2</sub> production flexibility with a degradation <2% (load spanning range (%))	5-150%
Hot start (min to max power) (seconds)	2
Cold start (min to max power) (minutes)	<5
Minimum part load (%)	10
Ramp up (min to full load) (% full load/s)	2

\*\*Depende de la fuente renovable

En la Fig. 1 se muestra la distribución de los elementos que configuran el sistema autónomo de generación de hidrógeno que va a llevarse a cabo.

Por un lado, el electrolizador necesita mantener unas condiciones de operatividad en momentos de riesgo de congelación, lo cual normalmente se consigue mediante calefactores, que deben ser alimentados continuamente durante los períodos de bajas temperaturas. Por otro lado, el sistema de control y comunicaciones que gestiona todo el sistema y que está continuamente monitorizando los elementos, debe recibir también energía de forma continuada. Estos dos requisitos son los que deben tenerse en cuenta para garantizar un suministro continuo de energía y autonomía completa, lo cual se consigue mediante el Sistema Híbrido de Almacenamiento (HSS). Este sistema se compone de un banco de baterías para suministrar bajas

potencias de forma continua y de una pila de combustible PEM para suministrar picos de carga puntuales, que obtendrá la energía del H<sub>2</sub> almacenado. Ambos se encargarán de suministrar energía a la carga de seguridad del sistema.

La correcta relación e integración entre pila de combustible PEM y baterías es crucial, ya que la primera debe entrar en funcionamiento cuando las baterías lleguen a su mínimo estado de carga, el cual se determina en función del número de ciclos que se esperen en el sistema. De igual modo, la capacidad de los tanques de almacenamiento de hidrógeno será el principal elemento a dimensionar, ya que debe poder almacenar suficiente cantidad de H<sub>2</sub> para garantizar la operatividad del sistema durante un periodo de tiempo determinado.

Los diferentes elementos de la Fig. 1 se pueden englobar en los siguientes subsistemas:

- Generación fotovoltaica: es la única fuente de energía, con una potencia instalada de 60 kWp.
- Electrónica de potencia: deberá integrar correctamente y con una alta eficiencia y flexibilidad la generación solar intermitente con los requerimientos del electrolizador.
- Sistema de electrolisis: formado por un electrolizador con tecnología PEMWE, su objetivo es el aumento en la producción de H<sub>2</sub> y la reducción de las necesidades energéticas, es decir, aumentar la eficiencia. En la Tabla 2 se pueden ver las características principales del sistema de electrolisis [2].

**Tabla 2.** Parámetros del electrolizador

<i>Parámetro</i>	<i>Hgas</i>
Número de Stacks	1
Mínima producción de H <sub>2</sub> (kg/24h)	3
Máxima producción de H <sub>2</sub> (kg/24h)	28
Consumo de agua (l/kg H <sub>2</sub> )	15
Presión de operación (bar)	20
Eficiencia del sistema a máxima operación (kWh/kg)	62
Inicio frío (seg)	300
Inicio caliente (seg)	30
Modulación (seg)	2
Pureza del H <sub>2</sub>	99,999%
Paquete del electrolizador	13'ISO
Rango de temperaturas (°C)	-15 a +40
Control	PLC
Interfaz de datos	Profient/modbus
Calidad del agua	Agua potable
Certificación	CE

- Sistema periférico: formado por el HSS para garantizar el funcionamiento continuo, tanques de hidrógeno a distintas presiones para almacenar H<sub>2</sub> y electrónica de potencia. También se incluye en este subsistema la gestión del hidrógeno hasta el consumidor final.
- Sistema General de Control y Comunicaciones: gestionará de forma eficiente y continuamente

cada uno de los subsistemas anteriores, con un diseño especial para una instalación aislada.

Para llevar a cabo el dimensionado del HSS, deben tenerse en cuenta todos los subsistemas de la instalación, como se verá a continuación.

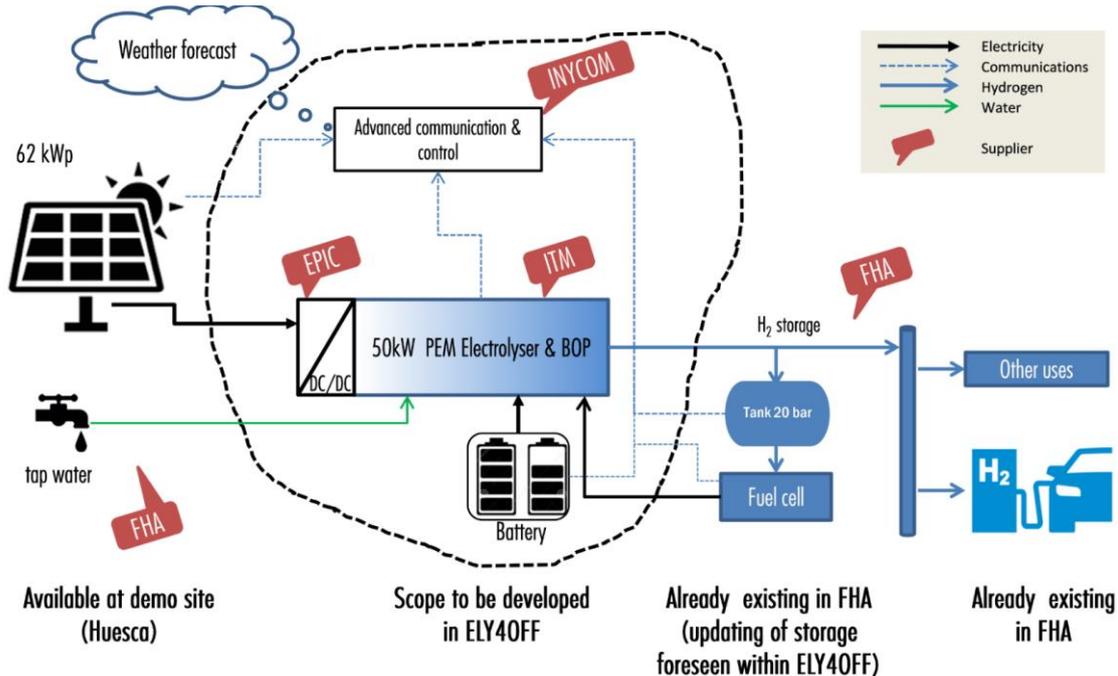


Fig. 1. Esquema de las instalaciones de ELY40FF

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Hasta ahora, se han llevado a cabo algunos procedimientos experimentales con el objetivo de mejorar las cualidades de los prototipos del proyecto, como son el electrolizador y los convertidores electrónicos.

Por tanto, se han conseguido mejoras en las membranas del stack para obtener mejor eficiencia, se ha seleccionado la tipología adecuada para la integración de los convertidores DC/DC de la forma más innovadora y dinámica posible, y se ha dimensionado el HSS para que sea capaz de sustentar al sistema durante un periodo prolongado sin radiación solar.

### 2.1. Sistema Híbrido de Almacenamiento (HSS)

Para el dimensionado del HSS, se ha utilizado un software desarrollado por uno de los socios del proyecto (CEA), que es capaz de realizar

simulaciones y optimización de sistemas con ciclo de hidrógeno.

Para poder analizar los resultados y realizar un estudio completo que abarque diferentes situaciones, se necesitan saber los requerimientos energéticos del sistema para mantenerse operativo incluso sin radiación solar. Estos son básicamente dos: funcionamiento del sistema de control y el mantenimiento del stack contra bajas temperaturas.

Una pequeña parte de esta energía provendrá de las baterías, y otra gran parte de la pila de combustible PEM, que utilizará el H<sub>2</sub> almacenado para suministrar los picos de consumo. Este H<sub>2</sub>, además de como backup energético, también será utilizado en otras actividades.

Por tanto, para el correcto dimensionado, se ha supuesto que el hidrógeno producido puede tener la siguiente finalidad: suministro a un “cliente benevolente”, el cuál toma el excedente de hidrógeno producido diario que no se necesita para el sistema, y no exige nada en los días que no hay

producción. Conceptualmente, es un caso de Power-to-Gas. En la práctica, se utilizará como combustible para autobuses del proyecto Hy2Piy, que conectará España, Andorra y el sur de Francia mediante un corredor de hidrógeno.

Analizando los resultados obtenidos, se ha conseguido estimar el volumen de almacenamiento adecuado de hidrógeno que requerirá el sistema para cada la finalidad anteriormente mencionada. El alcance del dimensionado se define como la capacidad de autonomía del sistema durante cinco días consecutivos sin generación fotovoltaica, tanto en días de verano con alta probabilidad de radiación solar como en días de invierno con menor probabilidad y bajas temperaturas.

En la Fig. 2 se puede observar el perfil anual de almacenamiento y producción de H<sub>2</sub> para el “cliente benevolente”. El perfil de color naranja indica el mínimo sistema de almacenamiento (2 kg en verano y 10 kg en invierno) necesario para garantizar los

cinco días de autonomía, que debe estar siempre disponible y que no puede entregarse al cliente.

Como medida de seguridad para evitar el venteo de H<sub>2</sub> que podría producirse al llenarse los tanques si el cliente no toma el exceso de producción, se ha establecido un valor de 30 kg (perfil amarillo) como máxima capacidad de almacenamiento. Esto garantiza el almacenamiento en el periodo de máxima producción durante cinco días sin venteo ni suministro alguno.

El perfil de color gris es la producción diaria de H<sub>2</sub>, el perfil de color azul es el H<sub>2</sub> realmente almacenado, en previsión a que si punto más bajo coincide con el mínimo almacenamiento.

Es decir, el sistema exporta todo el hidrógeno producido al cliente, pero manteniendo siempre un almacenamiento mínimo que asegure el mantenimiento del sistema durante cinco días sin radiación.

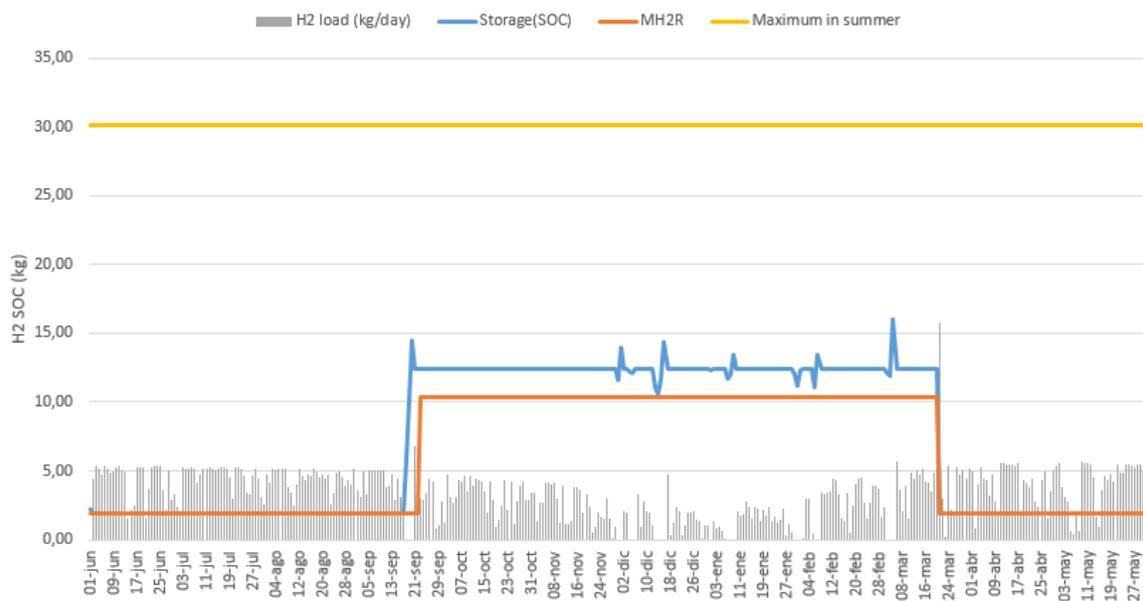


Fig. 2. Almacenamiento mínimo de H<sub>2</sub> para garantizar autonomía del sistema durante cinco días sin radiación solar al “cliente benevolente”.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El HSS, por tanto, quedará dimensionado en función del perfil de “cliente benevolente” de la siguiente forma:

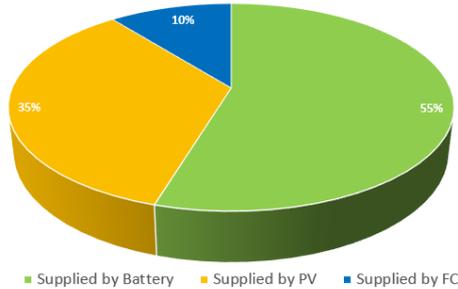
- Un banco de baterías de 30 kWh de capacidad
- Una pila de combustible PEM de 4.5 kW
- Un sistema de almacenamiento de H<sub>2</sub> de baja presión de 4 m<sup>3</sup> a 30 bar y de alta presión de 0,9 m<sup>3</sup> a 350 bar, con opción a ser ampliado si las necesidades lo requieren.

- La pila entrará en funcionamiento cuando las baterías lleguen al 0.3 del estado de carga, y dejarán de funcionar cuando lleguen al 0.4.

Estos resultados se han conseguido gracias al software de simulación antes mencionado y los posteriores análisis y cálculos de los resultados.

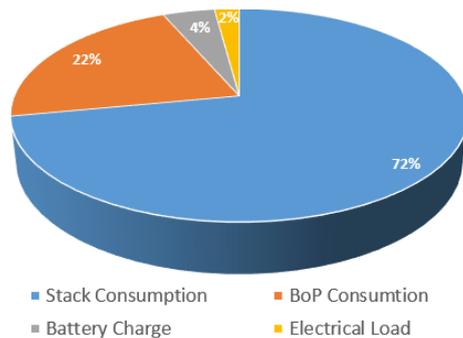
En términos de suministro los requerimientos de energía de seguridad del sistema son suministrados por el HSS en las condiciones concretas anteriormente mencionadas, y el resto del tiempo por la radiación solar. En la Fig. 3 se muestra la

cantidad de energía suministrada por los elementos del HSS y por la radiación solar.



**Fig. 3.** Energía suministrada a la carga eléctrica

Pero, además de estos consumos, también se requiere energía para el balance de planta del stack y para el propio stack. En la Fig. 4 se observan los porcentajes de uso de la energía solar del sistema:



**Fig. 4.** Energía recibida de la fuente fotovoltaica

Se puede apreciar que el stack requiere la mayor parte de los consumos, siendo la carga eléctrica y las baterías (el suministro del HSS) únicamente el 6% de las necesidades.

Estos resultados son preliminares y serán estudiados con mayor detalle en futuros análisis.

#### 4. CONCLUSIONES

El HSS depende fuertemente de la estrategia de operación a seguir, en la cual su punto más importante es la comunicación e integración entre las baterías y la pila de combustible. Se ha diseñado un sistema de almacenamiento de energía capaz de mantener vivas a las instalaciones durante cinco días de carencia solar, de forma que el hidrógeno actúa como vector energético y es utilizado tanto como energía de backup como para suministrar a un cliente final.

El sistema de almacenamiento de H<sub>2</sub> tiene un carácter modular, lo que permitirá ampliar su capacidad en caso de que las necesidades cambien y se requiera un mayor tiempo de garantía en el suministro, pero manteniendo siempre la pila de combustible estimada, ya que ha sido dimensionada para poder suministrar los picos de potencia necesarios, los cuales no pueden aumentar.

Esto permitirá demostrar la operatividad de un sistema autónomo y autosuficiente de electrolisis suministrado por una energía discontinua y renovable.

#### Agradecimientos

Especial agradecimiento para la Fuel Cell and Hydrogen 2 Joint Undertaking bajo el acuerdo 700359, que recibe financiación del Horizonte 2020 de la Unión Europea.

#### Bibliografía

- [1] <http://ely4off.eu>
- [2] ITM Power, en *D2.4 Technoeconomic objectives*, N. Van Dick (Editor), Ely4Off, 2016, 6-7.