

Globo dirigible propulsado por un "stack" PEMFC de alimentación pasiva con hidrógeno y aire ambiental

Antonio Molinero¹, Juan Carlos Oller¹, José Miguel Barcala¹, S. Santamaría², M. Antonia Folgado², Paloma Ferreira-Aparicio², Antonio M. Chaparro²

¹Dep. de Tecnología, CIEMAT (España)

²Dep. de Energía, CIEMAT (España)

RESUMEN: Entre las aplicaciones consideradas para el "stack" desarrollado en el Proyecto E-LIG-E, está un globo dirigible. Para ello, se ha fabricado un stack consistente en dos substacks de 7 celdas cada uno, conectados en paralelo, alimentado con aire ambiental e hidrógeno almacenado en hidruros metálicos. El cátodo de las celdas es de tipo air-breathing estático, y el ánodo es dead-end y permeable al agua que le permite funcionar con una eficiencia faradaica del 100%. El dirigible es propulsado por tres hélices con una demanda máxima de 40W. Para ello utiliza una batería de polímero-Li que puede proveer hasta 40W a 7V, y almacena 47W·h. Para sustituir dicha batería por la pila de combustible e hidrógeno, ha sido necesario desarrollar una electrónica que lleva a cabo la conversión dcdc desde el voltaje de salida del stack hasta los 7V necesarios (conversión "boost"), e incorpora tres supercondensadores que permiten suplir durante corto tiempo potencias de hasta 40W. La pila de combustible de hidrógeno puede aumentar la autonomía del sistema, desde las 47W·h de la batería, hasta 60W·h utilizando cuatro depósitos de H₂ de 1g de almacenamiento cada uno.

ABSTRACT: Among the applications considered for the stack developed by Project E-LIG-E, there is a dirigible airship. With this aim, a stack composed of two seven cells substacks, connected in parallel, and fed passively with air and stored hydrogen in commercial metal hydrides canisters has been built. The cathode is air-breathing type, whereas the anode works in dead-end mode and is permeable to liquid water, allowing for a 100% faradaic efficiency. The airship is propelled by three propellers with maximum power demand of 40W. With this aim, the commercial product has a Li-Po battery that provides 40W at 7V, and stores 47 W·h. In order to substitute the battery for a hydrogen fuel cell, an electronic is developed that converts the fuel cell power to 7V output (boost conversion), and with three supercapacitors to provide during a limited time up to 40W. The hydrogen fuel cell may increase the autonomy of the airship from 47W·h up to 60W·h, using four H₂ cartridges.

Palabras clave: Aplicación con hidrógeno, dirigible, conversión dcdc, hidruros metálicos, supercondensador

Keywords: Hydrogen application, dirigible, dcdc conversion, metal hydrides storage, supercapacitors.

1.INTRODUCCIÓN

Los globos dirigibles son aerostatos autopropulsados con capacidad de maniobra, en los que la sustentación aerostática se logra mediante depósitos llenos de un gas de menor densidad que el aire de la atmósfera. En este sentido difieren de otras aeronaves que se sustentan mediante un perfil alar, como el aeroplano, o las aspas de un helicóptero. El dirigible fue el primer artefacto volador capaz de ser controlado en un vuelo de larga duración, y su uso principal tuvo lugar aproximadamente entre 1900 y la década de 1930, para posteriormente disminuir paulatinamente cuando los aeroplanos superaron sus capacidades. En su decadencia también influyó el haber sufrido varios accidentes de relevancia; el más notable de los cuales fue el incendio del Hindenburg en 1937, cuya estructura rígida (zepelín) estaba recubierta de algodón y materiales inflamables que ardieron fácilmente con el hidrógeno. Desgraciadamente, este accidente se utiliza recurrentemente por los detractores del hidrógeno como combustible, omitiendo el fallo en la seguridad para el almacenamiento de un fluido combustible. Actualmente los dirigibles se utilizan especialmente en publicidad.

Entre las aplicaciones consideradas para las pilas de combustible desarrolladas en el proyecto E-LIG-E, se ha incluido el desarrollo de un dirigible. Para ello, se ha llevado a cabo la adquisición de un producto comercial de 3m³ que utiliza normalmente una batería de Li-polímero. Dicha batería ha sido sustituida por

una pila de combustible de hidrógeno que es alimentada con aire ambiental estático (cátodo "air-breathing") e hidrógeno almacenado en depósitos de hidruros metálicos. Se describen en esta comunicación distintos aspectos del desarrollo, especialmente la electrónica de conversión dc/dc y el stack.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Stack PEMFC con alimentación pasiva y almacenamiento de hidrógeno

La pila de combustible utilizada para propulsión del dirigible consiste en un "stack" con alimentación pasiva de aire ambiental e hidrógeno almacenado en depósitos de hidruros metálicos (Fig. 1a). Para ello, el diseño de los electrodos ha sido modificado siguiendo un modelo de invención desarrollado por CIEMAT [1].

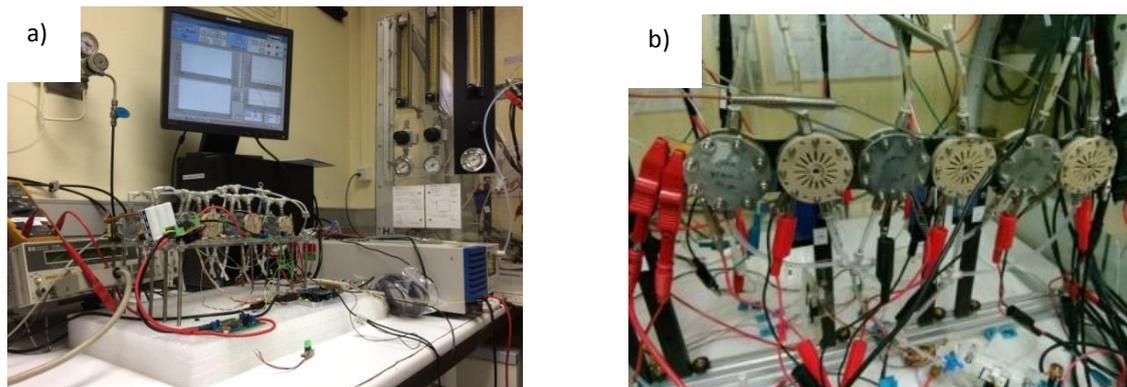


Fig. 1. a) Banco de ensayos de stack air-breathing, b) Substack de seis celdas.

El cátodo es de tipo "air-breathing", alimentado con aire ambiental estático a través de una placa columnar que facilita el intercambio de agua y aire con el ambiente. El ánodo es de tipo "dead-end" y permeable al agua gracias a una membrana hidrofílica que le permite evacuar el agua producida por la pila sin necesidad de purgas. Esto hace que la pila pueda tener una eficiencia faradaica de 100%, es decir, convierte todo el hidrógeno almacenado en electricidad. Los ensamblajes membrana-electrodo (MEAs) utilizados fueron fabricados con electrodos comerciales (FCETC, $0.30 \text{ mgPt}\cdot\text{cm}^{-2}$, sobre capa difusora de gases de tela de carbón), y membrana de Nafion NR212 (Ion Power). Para la conexión entre celdas se han fabricado contactos rejilla pareados por medio de impresora 3D. Una fotografía del banco de ensayos y un stack de seis celdas se muestra en la Fig.1 Durante el funcionamiento, la pila alcanza una temperatura entre 30°C y 40°C . El funcionamiento continuo y estable de la pila, sin purgas, y con alimentación pasiva se muestra en la Fig.2, mientras que su correspondiente curva de polarización está en Fig. 2b.

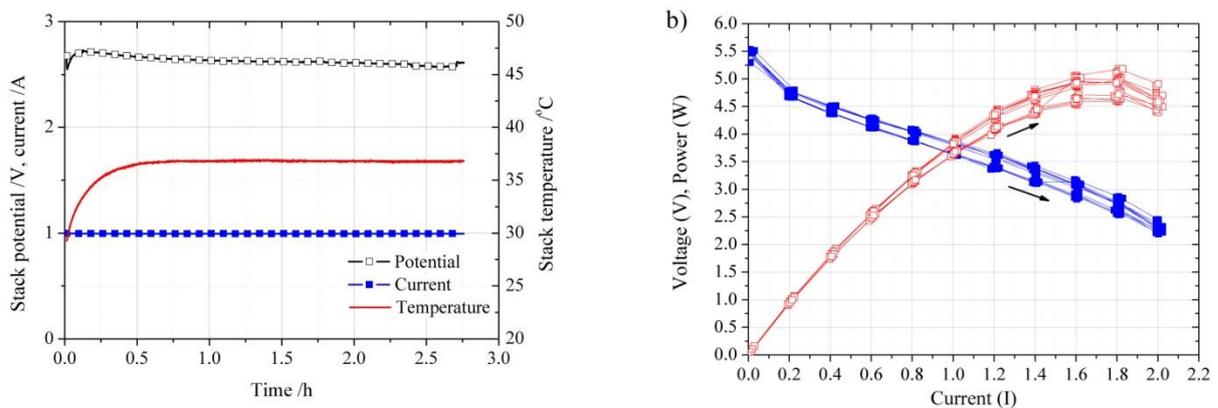


Fig. 2. a) Curvas de potencia, corriente y temperatura en función del tiempo, correspondientes al stack de la Fig.1. b) Curva de polarización de un substack de seis celdas, obtenida mediante alimentación con hidrógeno seco (0.5bar, estático), y aire ambiental (23°C , 30%RH, estático).

El stack se ha instalado debajo de la góndola, con objeto de tener completa disponibilidad de aire ambiental. Para el almacenamiento de hidrógeno se utilizan botellas de hidruros metálicos (Hydrostick, Horizon) capaces de almacenar 1g de hidrógeno. Las botellas se conectan a la pila a través de dos fases de regulación de presión, primera a 1 bar y segunda a 0.5bar. Las botellas de hidrógeno proveen hasta 15 W3h cada una de autonomía, y se han colocado junto al stack.

2.2. El globo dirigible

El globo dirigible seleccionado es de tipo flexible, con capacidad para 3m³ de almacenamiento de helio. Tiene una góndola adosada en su parte inferior con dos hélices propulsoras, además de una tercera hélice en la parte posterior que le sirve para cambiar la dirección. Las hélices propulsoras delanteras pueden cambiar su ángulo de inclinación para elevar o descender el dirigible. Para manejo por control remoto hay un joystick. En total, son tres hélices que consumen un máximo de 40W de potencia eléctrica, suministrada por una batería Li-Po. La Fig. 3 muestra fotografías del dirigible y de la batería comercial utilizada en su propulsión.



Fig. 3. Fotografías del globo dirigible (Izqda.), y de la batería utilizada para propulsión del modelo comercial (dcha.).

2.3. La electrónica de conversión dc/dc y monitorización de los parámetros

Para el acondicionamiento de la potencia generada por el stack, se ha diseñado y construido una electrónica que lleva a cabo la conversión dc/dc elevando el voltaje a 7V. Dicha electrónica incorpora además tres supercondensadores de 100F conectados en serie, que permiten dar una potencia de hasta 50W de forma puntual.

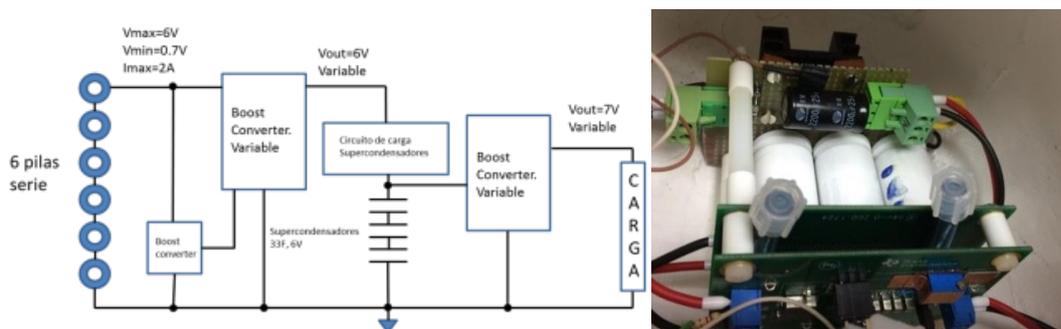


Fig. 4. Esquema de la electrónica para conversión boost de la potencia del stack (Izqda.), y fotografía de la tarjeta desarrollada con los tres supercondensadores (Dcha.).

Para medida de los distintos parámetros del stack (voltajes de celda, corriente, temperaturas), se ha instalado una tarjeta Arduino con distintos sensores. La tarjeta puede enviar los parámetros en tiempo real vía wifi. Asimismo, se ha preparado un programa en Labview que permite la monitorización continua de los parámetros del stack (corriente, caudal de hidrógeno, voltajes de celda, temperaturas), y de la electrónica (corriente, voltaje de los supercondensadores, y potencia de salida). Este programa puede conectarse de forma remota, mediante wifi, con el dirigible.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los distintos componentes, stack, almacenamiento de hidrógeno, electrónica de control, y electrónica de medición, han sido integrados en la góndola del dirigible (Fig. 5).



Fig. 5. De izquierda a derecha: stack de alimentación pasiva, almacenamiento de hidrógeno, tarjeta de colección de datos, y vista de la góndola con todos sus componentes.

Detalles del funcionamiento del sistema generador de potencia se muestran en la Fig.6.

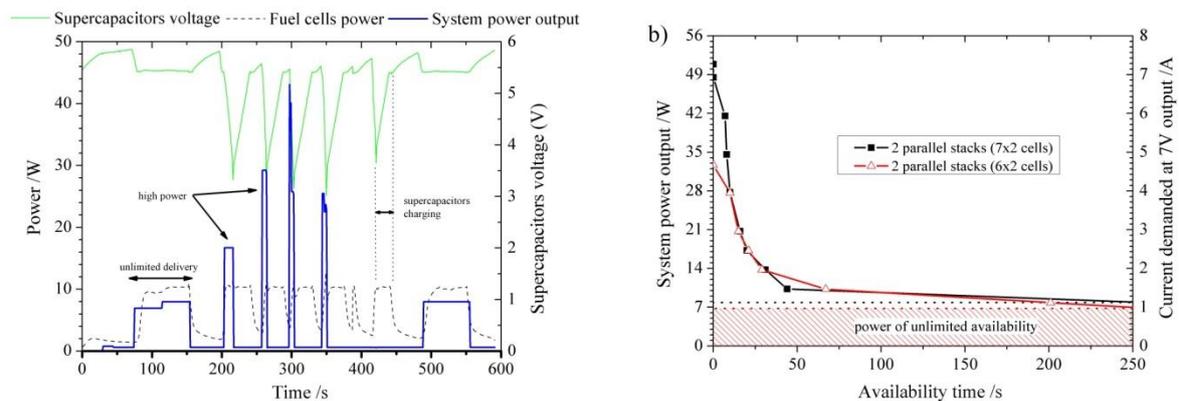


Fig. 6. a) Curvas de voltaje de supercondensadores, potencia de la pila de combustible, y potencia del sistema completo, durante un ciclo típico de demanda del dirigible, en función del tiempo. b) Curva de potencia en función del tiempo de disponibilidad de la misma.

En Fig.6a se muestran la evolución del voltaje de supercondensadores (verde), de la potencia suministrada por el stack (trazos), y la suministrada por el sistema (azul). Para potencias inferiores a 7W, el stack provee enteramente la potencia al sistema sin necesidad de los supercondensadores. A mayores potencias, los supercondensadores aportan potencia, seguido de un tiempo de recarga de los mismos. La Fig.6b muestra la potencia del sistema en función del tiempo de disponibilidad: es ilimitado por debajo de 7W, mientras que por encima puede suministrar hasta 50W durante unos segundos.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado con fondos del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), Project E-LIG-E, ENE2015-70417-P (MINECO/FEDER)

Bibliografía

- [1] Modelo de Invención 201930869, CIEMAT.