

Una instalación de energía renovable para explotación agrícola basada en hidrógeno: primeros resultados

Vicente Roda¹, Félix Barreras¹, Luis Valiño¹, Radu Mustata¹, Antonio Lozano¹, Javier Carroquino²

¹LIFTEC (CSIC- Universidad de Zaragoza), María de Luna 10, 50018, Zaragoza, España

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Zaragoza, María de Luna 3, 50018, Zaragoza, España

RESUMEN: *En el presente trabajo se muestra la viabilidad técnica de una instalación de energía renovable aplicada al tratamiento de aguas residuales para su posterior uso como agua de riego en una explotación agrícola. La instalación consta de paneles fotovoltaicos de tres tipos, sistema de almacenamiento de corto plazo por baterías y de largo plazo mediante generación de hidrógeno. Un vehículo de uso agrícola, hibridado dentro del proyecto, utiliza el hidrógeno almacenado para su movilidad. Los primeros resultados muestran un diseño adecuado de la instalación a las necesidades de la explotación. También se constata la viabilidad económica de la instalación fotovoltaica con el sistema de almacenamiento en baterías.*

ABSTRACT: *The present work shows the technical viability of a renewable energy installation applied to the treatment of wastewater for its subsequent use as irrigation water in an agricultural exploitation. The installation consists of photovoltaic panels (three different types), a short-term battery and a long-term hydrogen based storage systems. A vehicle has been hybridized in the frame of the project to use the stored hydrogen for mobility. The first results show an adequate design of the installation to the needs of the operation. The economic viability of the photovoltaic system with the battery storage system is also confirmed.*

Palabras clave: *Energía renovable, pila de combustible polimérica, vehículo hidrógeno, paneles flotantes, instalación energía solar*

Keywords: *Renewable energy, PEMFC, hydrogen vehicle, floating panels, solar energy facility*

1. INTRODUCCIÓN

Las dificultades de conexión a la red eléctrica, la disponibilidad de espacio y un acceso más fácil al recurso renovable, hacen que, entre otras razones, la energía solar (y/o eólica) sea una excelente candidata para satisfacer la demanda de energía eléctrica en entornos rurales.

Las variaciones de demanda/producción durante el día y la falta de viento o sol durante un período de tiempo pequeño (alrededor de una semana) pueden cubrirse mediante el uso de un sistema de almacenamiento basado en un conjunto de baterías. Sin embargo, las actividades agrícolas no son uniformes, sino muy dependientes de la temporada o incluso del mes del año. Estas variaciones requieren necesidades de almacenamiento más allá de las capacidades de los sistemas de baterías. Una excelente alternativa es producir hidrógeno localmente por electrólisis, cuando hay un exceso de producción en comparación con la demanda, y recuperar la electricidad del hidrógeno usando pilas de combustible en caso contrario. El hidrógeno puede presurizarse y almacenarse en tanques hasta que sea necesario. El volumen utilizado por los

tanques pone así los límites para este almacenamiento de energía.

Con estas directrices, se ha establecido una instalación experimental en la bodega Viñas del Vero S.A. en Barbastro, España, en el marco de un proyecto europeo. La instalación tiene como objetivo proporcionar la energía necesaria para llevar a cabo un ejemplo práctico de economía circular aplicada al agua.

Tras unos meses de funcionamiento, se pueden mostrar los primeros resultados que muestran la viabilidad económica del mismo, con algunas restricciones.

A continuación se detallan las características de la instalación y se muestran los primeros resultados

2. PARTE EXPERIMENTAL

Como se ha precisado en la introducción, las instalaciones del proyecto REWIND (Profitable Small Scale Renewable Energy Systems in Agrifood Industry and Rural Areas: Demonstration in the Wine Sector [1]) están localizadas en las bodegas de Viñas del Vero, situada en la comarca del Somontano (Huesca), al norte de Aragón (España).

La figura 1 muestra un esquema completo de la instalación.

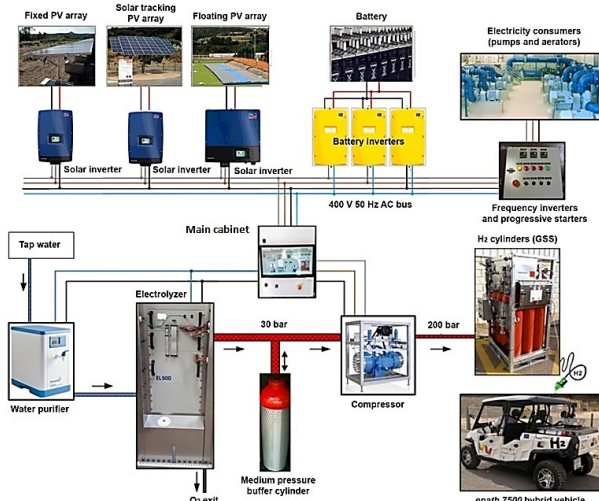


Fig. 1. Esquema de la instalación de generación fotovoltaica y producción y almacenamiento de hidrógeno (REWIND) en Viñas del Vero.

Esta consiste en primer lugar en un sistema de generación de energía solar a partir de tres tipos de paneles fotovoltaicos: fijos (10,8 kWp), seguidor solar (21,6 kWp) y flotantes (10,8 kWp). Estos últimos, experimentales, están especialmente diseñados para su uso en estanques con variaciones significativas del nivel de agua. Cada uno de estos paneles tiene conectado un inversor DC/AC trifásico. Además, tres inversores adicionales, bidireccionales, gestionan la red trifásica y controlan la carga y descarga del sistema de baterías de plomo ácido (128,6 kWh), que componen el sistema de almacenamiento de corto plazo, esencialmente intradía.

La red trifásica alimenta el sistema de aireadores y distintos tipos de bombas involucrados en todos los tratamientos y usos del agua, que se detallan en la subsección 2.1. Una pequeña parte de la energía se destina al acondicionamiento de la caseta donde se encuentran las baterías y el sistema de generación de hidrógeno, para fijar el rango de temperaturas más adecuado para el funcionamiento y duración de todos los componentes.

El sistema de almacenamiento de energía de largo plazo consiste en el equipamiento necesario para la generación y almacenamiento de hidrógeno (subsección 2.2). En esta instalación el hidrógeno se utiliza, mediante una pila de combustible, para suministrar energía a un vehículo eléctrico híbrido batería-pila de combustible (subsección 2.3). Toda la instalación está controlada por software de diseño propio.

2.1. Economía circular: el agua.

La actividad en bodegas genera aguas residuales que normalmente se vierten en cursos fluviales, bajo el pago del correspondiente canon. Las instalaciones de Viñas del Vero disponen sin embargo de una balsa de aireación que recoge las aguas residuales. Mediante un proceso orgánico aeróbico y posterior filtrado, el agua se acondiciona para su uso en riego.

La figura 2 muestra un esquema del proceso. Las aguas residuales de bodega se vierten en la balsa de aireación, mayoritariamente durante los meses de otoño, cuando la actividad es máxima en la bodega. Estas aguas contaminadas se oxigenan mediante tres aireadores, cuyo régimen de funcionamiento viene determinado por el nivel de energía disponible y los niveles adecuados de oxígeno disuelto en el agua de la balsa. Durante el proceso de aireación se generan unos lodos, que se bombean a la balsa de lodos, donde se secan, convirtiéndose en futuro abono para los viñedos. El proceso de aireación purifica orgánicamente el agua, de manera que durante la primavera se bombea por aspersión a una balsa arenosa, donde un proceso de filtrado deja el agua lista para su uso en el riego de las viñas. El paso a la balsa de riego se efectúa mediante una nueva bomba. Desde esta balsa, una última bomba permite el riego de las viñas. El periodo de riegos se centra en los meses de julio y agosto.

El consumo de energía está por tanto separado y únicamente existe una limitación al uso simultáneo de aireadores para no estresar el sistema, dado que a máximo funcionamiento cada uno de ellos requiere 14 kW de potencia.

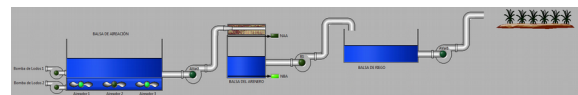


Fig. 2. Sistema de aireación, filtrado y riego en las bodegas del Viñas del Vero.

2.2. Producción y almacenamiento de hidrógeno.

La electricidad excedente, una vez que las baterías están totalmente cargadas, se usa para producir hidrógeno, utilizado por tanto como el vector de energía del sistema de almacenamiento a largo plazo. Como ya se ha comentado, en esta instalación particular el hidrógeno se utiliza para alimentar una pila de combustible que va instalada en un vehículo eléctrico híbrido.

El sistema de generación y almacenamiento de hidrógeno (y reabastecimiento de combustible) se muestra en la parte inferior de la figura 1. Se ha diseñado en su mayor parte con componentes comerciales, para minimizar los costes y aumentar la robustez del conjunto.

El sistema está compuesto por un purificador compacto que produce agua analítica de grado ASTM tipo II a partir de agua corriente doméstica (máximo 3 l/h), un electrolizador basado en una membrana polimérica sólida alcalina (500 lN/h), una botella de 10 l que ejerce de “buffer” a baja presión (30 bar) para el hidrógeno generado y que conecta con un compresor de diafragma metálico (200 bar) y, finalmente, un sistema estacionario de almacenamiento de gas formado por un conjunto de 12 cilindros, con un volumen de 50 l cada uno, que guarda el hidrógeno a 200 bar. A esto hay que añadir la instalación de los elementos de seguridad y de las interconexiones eléctricas y de gas necesarias. Para cargar automáticamente el vehículo híbrido con el H₂ almacenado, se ha acoplado un sistema comercial de suministro que incluye los mecanismos de seguridad más avanzados (venteo, arrastre, prevención electricidad estática...).

Todos estos componentes están supervisados por los paneles electrónicos de potencia y control que se han diseñado y construido específicamente para esta instalación.

2.3. Vehículo híbrido.

El vehículo original utilizado en este proyecto es un modelo ePath-7500 con tracción total diseñado para viajar en terrenos irregulares, adecuado por tanto para el trabajo agrícola. Su motor eléctrico AC de 7.5 kW de 72 V se alimenta por un conjunto de 12 baterías 225 Ah tipo gel. Una batería de 12 V suministra energía a los sistemas auxiliares, al igual que en los automóviles convencionales. A este vehículo se le ha instalado una pila de combustible de membrana polimérica (PEMFC), un sistema de almacenamiento y suministro de hidrógeno y los correspondientes dispositivos eléctricos y electrónicos de control. La figura 3 muestra la instalación, en la parte trasera del vehículo.

La pila de combustible tiene una potencia nominal de 3 kW, de cátodo abierto formada por 72 células y placas bipolares de grafito. Se incluye un conjunto de 4 ventiladores axiales con el doble propósito de suministrar el oxígeno necesario a las reacciones electroquímicas y refrigerar la pila. Un convertidor DC/DC adapta los voltajes entre la pila y el conjunto de baterías del vehículo.

Tras la carga por la correspondiente boquilla de seguridad, el hidrógeno se almacena en cuatro cilindros interconectados de aluminio de 10 l cada uno que pueden almacenar el gas comprimido hasta 200 bar. De aquí, un sistema de suministro lo lleva a la pila de combustible, que incluye un sistema de recirculación que permite recuperar parte del hidrógeno no reaccionado en el ánodo y reintroducirlo en la pila.



Fig. 3. Vehículo híbrido de pila de combustible-baterías. La instalación del sistema de hidrógeno se muestra en la parte trasera.

Para ampliar la vida útil de la pila al máximo, se decidió reemplazar el control electrónico comercial por uno diseñado “ad hoc”, orientado a minimizar los mecanismos de degradación que se producen tanto en la pila como en las baterías. La implementación, sobre LabVIEW, se ha realizado en un microcontrolador NI roboRIO, con interfaces para la toma de datos.

El sistema de control de la pila incluye un modelo de máquina de estados, según los diferentes modos de funcionamiento, (reposo, en espera, suministro al motor, carga de baterías, venteo...), que dependen de las condiciones de funcionamiento del vehículo, el cambio en la demanda del conductor y también de fallos del sistema, observables también mediante alertas visuales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La instalación descrita en las secciones anteriores está completamente monitorizada. Las variables de funcionamiento más relevante se guardan centralizadamente en dispositivos de almacenamiento. Los datos de funcionamiento del vehículo se pueden guardar a su vez en memorias USB.

La instalación lleva funcionando desde finales de mayo de 2016, sin averías reseñables. Aunque no es todavía un periodo suficientemente largo, es indicativo de la robustez de la misma y la adecuación de los parámetros de funcionamiento escogidos en los programas de control.

A continuación se muestran algunos análisis preliminares a partir de los datos recogidos durante los últimos meses.

La producción total durante el primer año ha sido de alrededor de 75 Mwh, lo que equivale a 29 toneladas de CO₂ no emitidas a la atmósfera.

En la figura 4 se observa la producción y consumo durante el inicio de la primavera, fuera de la temporada de riego.

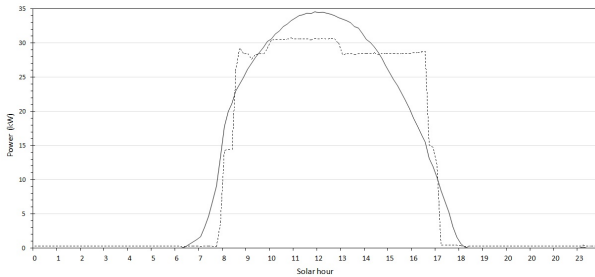


Fig. 4. Producción (línea continua) y consumo (línea punteada) en un día de marzo de 2017, fuera de la temporada de riego.

El control del sistema optimiza consumos, adaptándolos a la producción, de forma que el paso por el sistema de baterías, con las consiguientes pérdidas de eficiencia, se minimizan.

El perfil de un día de verano (julio) con riego se muestra en la figura 5.

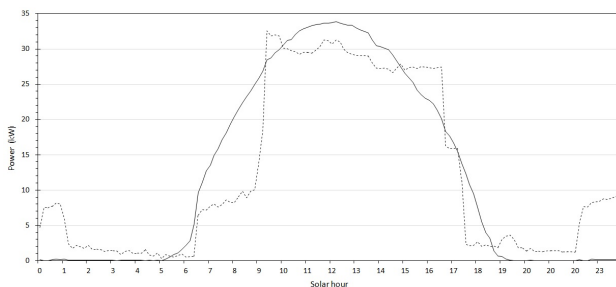


Fig. 5. Producción (línea continua) y consumo (línea punteada) en un día de julio de 2017, en la temporada de riego.

En el diseño se solicitó que el riego tuviera control manual, por lo que no se incluye en el programa de control. Como se observa en la figura, las baterías entran en funcionamiento para realizar el riego nocturno y se cargan por la mañana.

En la figura 6 se observa las variaciones de presión de los depósitos de hidrógeno (el de la instalación y el del vehículo) durante una recarga.

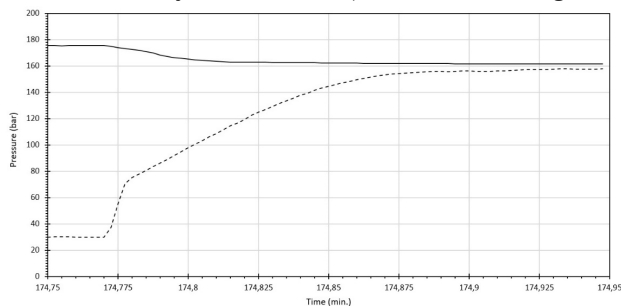


Fig. 6. Evolución de la presión del depósito de hidrógeno (línea continua) y de las botellas del vehículo (línea punteada) durante una recarga.

A partir de los datos de producción y consumo, excluyendo los costes del hidrógeno y considerando como alternativas los costes de un sistema equivalente basado en diésel y otro en la conexión y consumo a red, se ha realizado un análisis de costes que se resume en la figura 7. A partir del año 13, la solución renovable es la más económica.

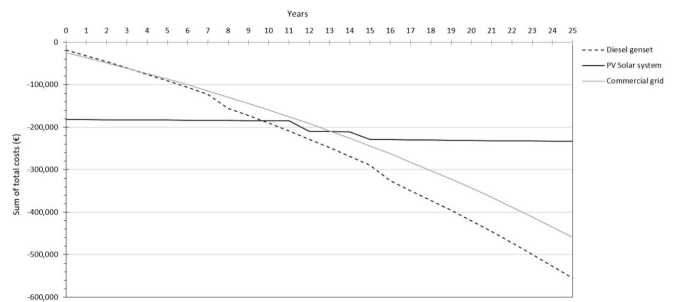


Fig. 7. Comparativa de costes de las tres posibilidades de satisfacer la demanda de energía eléctrica para el ciclo del agua en Viñas del Vero.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado la viabilidad tecnológica del uso de sistemas de energía renovable para abastecer de energía eléctrica zonas rurales, en particular una bodega en el norte de Aragón. Se ha incluido la producción de hidrógeno y su uso en movilidad. Excluyendo la inversión en la tecnología de hidrógeno, aún no madura, la instalación es también económicamente viable.

El sistema demostrativo instalado suministra información completa del ciclo energético anual, lo que permite el análisis de los datos y su ulterior uso para mejorar el diseño de este tipo de instalaciones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Unión Europea LIFE + en el marco del proyecto LIFE13 ENV / ES / 000280. También se reconoce el apoyo del Gobierno Regional de Aragón al Grupo de Investigación de Dinámica de Fluidos Experimental (T03) del LIFTEC.

Bibliografía

- [1] R. Mustata, V. Roda, A. Nueno, L. Valiño, A. Lozano, F. Barreras, J.L. Bernal, J. Carroquino, Small scale demonstration project for the production and use of hydrogen from renewable energy sources in the wine sector, Proceedings of the 21st World Hydrogen Energy Conference, WHEC (2016) 383-384