

IV CONVOCATORIA DE MICRO-PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO EN EL MARCO DE LA “CÁTEDRA DE LA PROVINCIA” DE LA UHU

INFORME DE SEGUIMIENTO FINAL

TÍTULO DEL PROYECTO: HyGROBOT – Hydrogen fuelled for AGRiculture purpOse roBOTic platform. Desarrollo de una plataforma robótica terrestre para uso en agricultura propulsada por hidrógeno.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad económica y generadora de empleo de alto valor para Andalucía, y muy en particular para la provincia de Huelva. Sin embargo, la agricultura en general se enfrenta a importantes desafíos, presentes y futuros. Por un lado, con los niveles de producción actuales, es ya un hecho que su sostenibilidad medioambiental está en entredicho debido al abuso que hace de los recursos hídricos y al empleo excesivo de fertilizantes, entre otras causas. Esto, agravado por un escenario de calentamiento global, están provocando y acelerando fenómenos tales como el de la desertización y el empobrecimiento de los suelos, o la contaminación de acuíferos y la atmósfera. Ello, unido a las estimaciones existentes acerca del incremento progresivo de la producción que será necesario para el abastecimiento de una población mundial en imparable ascenso, no hacen más que reafirmar la necesidad de un cambio de paradigma productivo que se apoye en la optimización de la dupla producción-sostenibilidad, tal y como se recoge en la Política Agraria Común (PAC) 2023-2027 de la Unión Europea.

En el contexto descrito, el proyecto de investigación que aquí se presenta, propone el desarrollo de una solución tecnológica para la optimización de los cultivos aplicando los principios de la agricultura de precisión. En concreto, se plantea desarrollar una plataforma robótica terrestre propulsada por hidrógeno con el objetivo de dotar de los requerimientos técnicos necesarios en materia de autonomía, densidad energética y resiliencia para fomentar el uso de plataformas robótica terrestres en grandes explotaciones agrícolas.

El buen fin de este proyecto permitirá fomentar el uso de nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura de precisión, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la gestión de explotaciones agrícolas mediante un uso razonable de recursos naturales y fertilizantes, favoreciendo así la competitividad, sostenibilidad y rentabilidad, presente y futura, del sector.

Finalmente, para la consecución de este objetivo, se plantea una división del proyecto en un total de cinco etapas principales. Durante la primera etapa del proyecto, se definirán los requerimientos técnicos y márgenes de tolerancia que el prototipo propuesto debe de cumplir atendiendo al tipo de aplicación, plataforma terrestre y misión a realizar. Con estas premisas en mente, y para su consecución, la siguiente fase del proyecto se centrará en el diseño de la arquitectura y estrategia de gestión de la energía. Seguidamente, la tercera fase englobará todas las tareas de diseño electrónico para la monitorización y control de los elementos constituyentes del sistema de propulsión eléctrica. Tras el desarrollo electrónico, el sistema de propulsión eléctrica se implementará y testará frente a condiciones reales con el objetivo de obtener un prototipo plenamente funcional. Finalmente, se procederá al análisis de los resultados y difusión de estos tanto en el ámbito científico como en el ámbito del sector industrial.

A tenor de lo anterior, y haciendo coincidir las diferentes etapas con los objetivos del proyecto, éstos pueden resumirse en los siguientes: Objetivo 1. Coordinación del proyecto, Objetivo 2. Identificación de requerimientos técnicos, Objetivo 3. Definición de arquitectura y estrategia de gestión de la energía del sistema de propulsión eléctrica híbrida, Objetivo 4. Diseño, implementación y testeo del prototipo de sistema de propulsión eléctrica híbrida basada, y Objetivo 5. Transferencia y difusión de los resultados.

Finalmente, atendiendo a la metodología y temporalidad, para la realización del proyecto se proponen un total de 7 tareas asociadas con los objetivos específicos, distribuidas a lo largo de la duración del proyecto, con una duración estimada de 12 meses, sujeto a la fecha de la resolución.

- Tarea 1. Coordinación del proyecto, reuniones e informes. Duración: 12 meses.
- Tarea 2. Identificación de requerimientos técnicos. Duración Mes 1.
- Tarea 3. Definición de la arquitectura del sistema de propulsión eléctrica híbrida. Duración Mes 2.
- Tarea 4. Diseño de la estrategia de gestión de la energía del sistema de propulsión eléctrica híbrida. Duración Mes 3.
- Tarea 5. Diseño de la electrónica de adquisición, control y electrónica de potencia del sistema de propulsión eléctrica híbrida. Duración Mes 4-Mes 8.
- Tarea 6. Implementación y testeo del sistema de propulsión basada en hidrógeno para la plataforma robótica terrestre. Duración Mes 8-Mes 10.
- Tarea 7. Transferencia de tecnología y difusión de resultados. Duración Mes 11-Mes 12.

2. INVESTIGADORES

INVESTIGADOR 1

Nombre: Francisco José Vivas Fernández

Responsabilidad: Investigador Principal

Categoría: Profesor Ayudante Doctor

Departamento/Unidad: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica, de Diseño y Proyectos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad: Universidad de Huelva

INVESTIGADOR 2

Nombre: José Manuel Andújar Márquez

Responsabilidad: Miembro del equipo de investigación

Categoría: Catedrático de Universidad

Departamento/Unidad: Departamento de Ingeniería Electrónica, de sistemas Informáticos y Automática (DIESIA), Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad: Universidad de Huelva

INVESTIGADOR 3

Nombre: Arturo Aquino Martín

Responsabilidad: Miembro del equipo de investigación

Categoría: Profesor Contratado Doctor

Departamento/Unidad: Departamento de Ingeniería Electrónica, de sistemas Informáticos y Automática (DIESIA), Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad: Universidad de Huelva

INVESTIGADOR 4

Nombre: Cirilo Delgado Asensio

Responsabilidad: Miembro del equipo de investigación

Categoría: Personal Técnico de Investigación

Departamento/Unidad: Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad (CITES) de la Universidad de Huelva

Universidad: Universidad de Huelva

3. MEMORIA ECONÓMICA

La Figura 1 recoge el diagrama de barras comparativo del presupuesto concedido y presupuesto ejecutado a fecha de informe final.

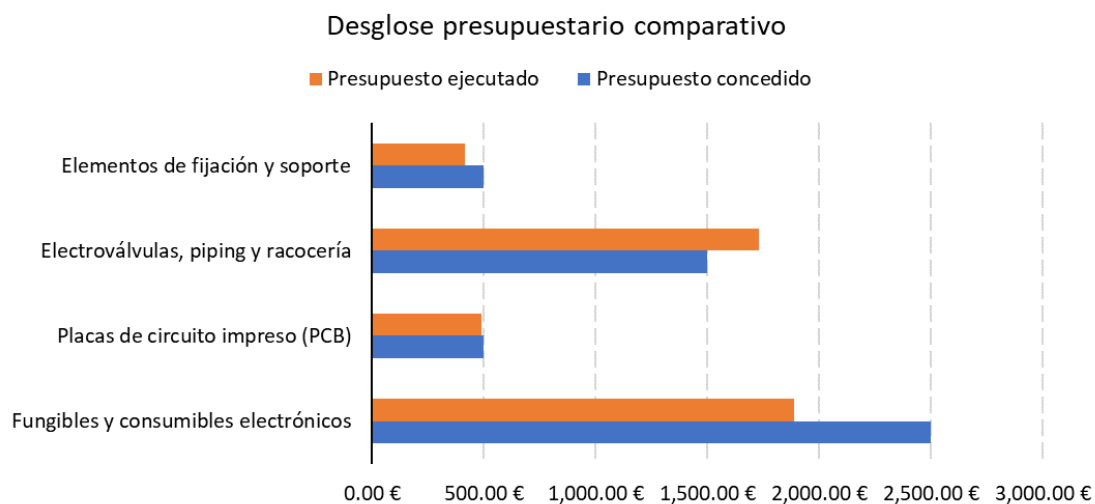


Figura 1. Desglose presupuestario comparativo

De acuerdo con la Figura 2, donde se recoge el detalle del presupuesto solicitado y presupuesto ejecutado a fecha de informe intermedio, se muestra que el presupuesto solicitado fue de 5.000,00 €, de los que se concedieron 5.000,00 €. Del presupuesto concedido, se han ejecutado 4.532,71 €. Esta cantidad ejecutada se ha empleado en la adquisición de material fungible y consumibles electrónicos para el diseño e implementación de la electrónica de control y adquisición, así como electroválvulas y racocería en general para las conexiones de la línea de hidrógeno a la pila de combustible, y finalmente los gastos asociados a la implementación física final del prototipo, tanto electrónica de control, potencia y adquisición de datos, como de elementos estructurales de fijación y soporte.

Proyecto HyGrobot		UG 80017008	
Partida	Presupuesto Original (Concedido)	Ejecutado	Remanente
Fungibles y consumibles electrónicos	2,500.00 €	1,886.50 €	613.50 €
Placas de circuito impreso (PCB)	500.00 €	489.26 €	10.74 €
Electroválvulas, piping y racocería	1,500.00 €	1,743.29 €	-243.29 €
Elementos de fijación y soporte	500.00 €	413.66 €	86.34 €
Total	5,000.00 €	4,532.71 €	467.29 €

Figura 2. Desglose presupuestario del proyecto (a la izquierda detalle del presupuesto solicitado, a la derecha detalle del presupuesto concedido y ejecutado)

4. MEMORIA CIENTÍFICA

4.1 Objetivos

El objetivo general que persigue el proyecto es el diseño, implementación y testeo de un demostrador tecnológico para el análisis y validación experimental del uso de las tecnologías del hidrógeno en plataformas robóticas terrestres para su uso en agricultura de precisión.

En base a las hipótesis de partida y el objetivo general del proyecto, se establecen los siguientes objetivos específicos (OE) para alcanzarlos, los cuales serán plasmados en tareas en la metodología del proyecto.

- OE1. Coordinación del proyecto

Coordinación del proyecto, realización de reuniones periódicas, evaluación del grado de cumplimiento de las tareas y objetivos, detección de disparidades e inconvenientes, realización de acciones de corrección y/o mejora, y/o ajuste de temporalización, etc.

- OE2. Identificación de requerimientos técnicos

Dimensionado y diseño del sistema de propulsión eléctrica híbrida, es decir, identificación de la topología, definición de potencia y tensión de pila de combustible y batería, capacidad de batería y tanque de hidrógeno, etc. Todo ello bajo las premisas de autonomía, carga de pago y densidad energética objetivo.

- OE3. Definición de arquitectura y estrategia de gestión de la energía del sistema de propulsión eléctrica híbrida

Definición de la arquitectura del sistema de propulsión eléctrica híbrida y diseño de estrategia de gestión de la energía para el correcto reparto energético entre batería y pila de combustible, con el objetivo de garantizar una operación segura y eficiente. La estrategia de gestión de la energía se diseñará atendiendo a criterios de aplicabilidad, grados de libertad del sistema, robustez y seguridad en la operación.

- OE4. Diseño, implementación y testeo del prototipo de sistema de propulsión eléctrica híbrida basada

Validación experimental del prototipo. Implementación y testeo del prototipo de sistema de propulsión eléctrica híbrida basada. Evaluación de su rendimiento, propuestas de mejora o rediseño, si fuera necesario.

- OE5. Transferencia y difusión de los resultados

Transferencia y difusión de resultados.

4.2 Metodologías y trabajos desarrollados

Para la realización del proyecto se llevan a cabo las tareas que se indican a continuación (no en orden secuencial); la primera genérica y las demás relacionadas con sus objetivos específicos.

OE1. Coordinación del proyecto

T1. Coordinación del proyecto, reuniones e informes

El IP del Proyecto fijó durante el periodo de ejecución del proyecto, reuniones periódicas para evaluar el grado de cumplimiento de las tareas y, por tanto, ajustar la temporalización de éstas y las fechas de los entregables (documentación, hardware y software).

Grado de ejecución: Realizada durante la duración del proyecto.

OE2. Identificación de requerimientos técnicos

T2. Identificación de requerimientos técnicos

Para el correcto dimensionado y diseño del sistema eléctrico de propulsión eléctrica híbrida se realizó un estudio preliminar, fruto del cual se han identificado los requerimientos técnicos claves para la correcta selección y dimensionado de los componentes fundamentales, entre ellos, capacidad y tensión del pack de baterías, potencia y tensión de la pila de combustible, así como capacidad y presión del tanque de hidrógeno. Este estudio se basó en los requerimientos preestablecidos de tensión nominal de alimentación de la plataforma (motores y auxiliares), autonomía, carga de pago útil y densidad energética objetivo para la aplicación a estudio, una plataforma robótica terrestre disponible y la misión a realizar.

Grado de ejecución: Realizada.

OE3. Definición de arquitectura y estrategia de gestión de la energía del sistema de propulsión eléctrica híbrida

T3. Definición de la arquitectura del sistema de propulsión eléctrica híbrida

Fruto del estudio anterior, y en base a la disponibilidad de equipos actuales en el laboratorio y presupuesto concedido, se evaluó la viabilidad de dos arquitecturas para el diseño del sistema de propulsión eléctrica híbrida, arquitectura pasiva y activa. Debido a la sencillez y facilidad de control, y la capacidad de reducir el número de dispositivos de electrónica de potencia (con su correspondiente reducción de peso, coste y grados de libertad), se optó finalmente por la arquitectura pasiva, en la cual el acoplamiento entre batería y pila de combustible es realizado únicamente mediante un diodo de bloqueo, de acuerdo con la Figura 3. Para ello, se procedió al rediseño de la pila de combustible mediante la adición de nuevas celdas, de tal forma que permita el acoplamiento directo garantizando una tensión mínima y máxima de acuerdo con el rango de operación del pack de baterías.

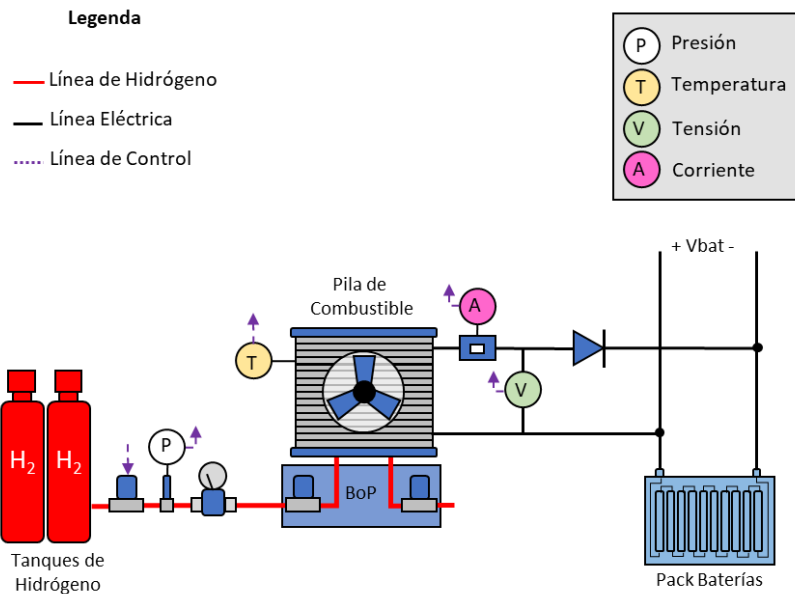


Figura 3. Arquitectura del sistema de propulsión eléctrica híbrida

Grado de ejecución: Realizada.

T4. Diseño de la estrategia de gestión de la energía del sistema de propulsión eléctrica híbrida

Definida la arquitectura, se procedió al diseño de la estrategia de control y de gestión de energía que definirá la operación e intercambio de energía entre los elementos constituyentes del sistema de propulsión eléctrica, baterías y pila de combustible. Dicha estrategia de gestión responde a dos consideraciones principales, la garantía del balance de potencia, y la seguridad en la operación tanto del pack de baterías como de la pila de combustible.

Atendiendo a los anteriores criterios, se definió una estrategia sencilla pero robusta basada en un ciclo de histéresis atendiendo a la tensión del pack de baterías. Así pues, partiendo de una tensión alta del pack de baterías (batería cargada), se hará uso exclusivamente del pack de baterías para garantizar el balance de potencia en el sistema de propulsión eléctrica híbrida. Este proceso provocará la descarga de la batería, y consecuentemente hará que su tensión caiga hasta un valor mínimo preestablecido. Este evento definirá la condición de arranque de la pila de combustible, siempre y cuando, exista hidrógeno suficiente en el depósito para garantizar su uso. La pila de combustible operará a una potencia de diseño definida por el punto de tensión del pack de baterías, por lo que su operación será suave y controlada, fundamental para garantizar un uso seguro y eficiente de la pila de combustible. Mientras la pila de combustible opere, el balance de potencia se garantizará mediante la carga o descarga del pack de baterías dependiendo de si existe una condición de exceso o déficit de energía respectivamente.

La operación de la pila de combustible se mantendrá en el tiempo siempre y cuando la tensión del pack de baterías no alcance un nivel máximo preestablecido, para evitar su sobrecarga, y, además, exista hidrógeno suficiente para garantizar su operación.

La estrategia de gestión de la energía descrita se presenta en forma de diagrama de estados en la Figura 4.

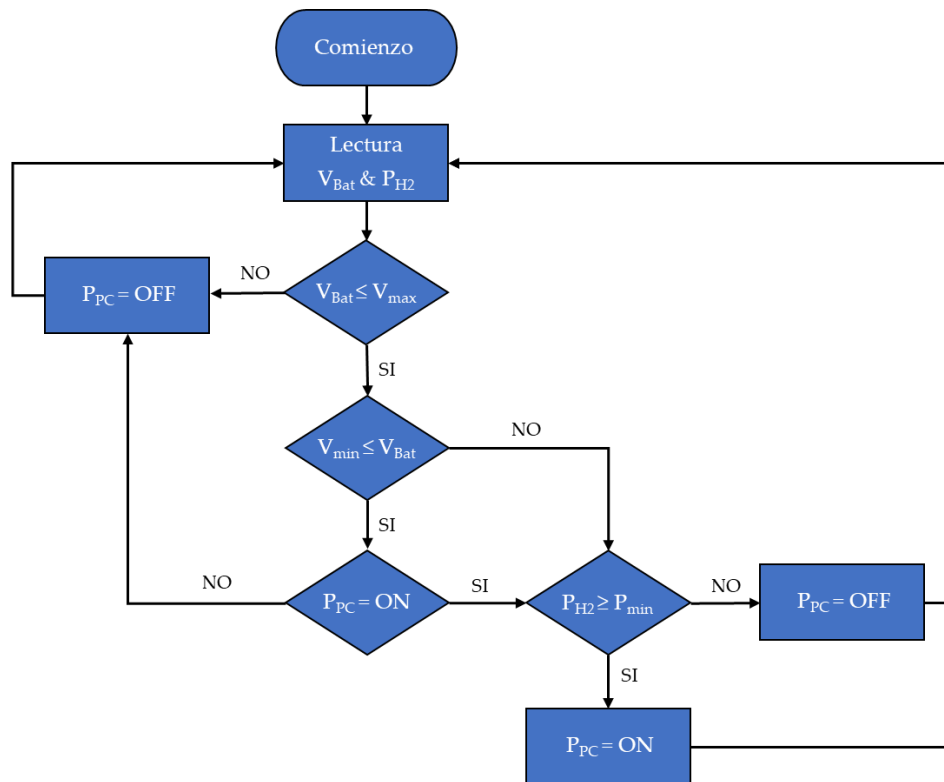


Figura 4. Estrategia EMS basada en ciclo de histéresis respecto a la tensión del pack de baterías

Un punto a favor de la arquitectura pasiva y acoplamiento directo es que permite implementar una estrategia completamente pasiva para la carga de la batería, la cual es intrínsecamente segura. Atendiendo al proceso de carga de la batería, es necesario una cierta regulación en la potencia de carga con forme la batería alcanza un estado de carga elevado, con el objetivo de no dañar los componentes fundamentales por exceso de temperatura. Con forme la tensión de la batería aumenta, esto provoca que el punto de operación de la pila de combustible se desplace atendiendo a su curva de polarización hasta valores de potencia inferiores, lo que permite “regular”, en cierto modo, la cantidad de corriente y potencia destinada a la carga del pack de baterías. El correcto dimensionado de potencia tanto del pack de baterías como de la pila de combustible es fundamental para ello.

Grado de ejecución: Realizada.

OE4. Diseño, implementación y testeo de la plataforma robótica terrestre propulsada por hidrógeno

T5. Diseño de la electrónica de adquisición, control y electrónica de potencia del sistema de propulsión eléctrica híbrida

Diseño de toda la electrónica de adquisición, control y de potencia necesaria para la monitorización, operación y control sobre las principales variables y parámetros del sistema de propulsión eléctrica híbrida.

Atendiendo a la pila de combustible, se engloba el diseño de toda la electrónica asociada a su balance de planta, monitorización de variables eléctricas, gestión térmica y control de potencia. Por su parte, para la batería, se diseñó toda la electrónica de monitorización de sus variables eléctricas, así como la electrónica de control requerida para su operación segura durante la carga, descarga y operación en standby. Finalmente, atendiendo a la propulsión del prototipo

eléctrico, se diseñó la electrónica de control y gestión de las ruedas motrices para el control de velocidad y sentido de giro.

En el presente proyecto, debido a su visión de prototipado, se optó por una solución integral basada en diseño electrónicos Open Source tipo Arduino MEGA como placa de control y adquisición para la gestión de la pila de combustible, carga y descarga de baterías, así como drivers para el control de las ruedas motrices del prototipo. Igualmente, se fueron desarrollados circuitos de acondicionamiento específicos para la integración de los sensores de magnitudes eléctricas y físicas, así como los drivers de control. Toda la información relativa al diseño fue almacenada en forma de informes técnicos para posterior uso o reproducción.

En las Figuras 5 y 6, pueden apreciarse los desarrollos de laboratorio implementados en el proyecto, destacándose la arquitectura del sistema híbrido y los desarrollos estructurales para la futura implementación de la plataforma robótica terrestre.

Grado de ejecución: Realizada.

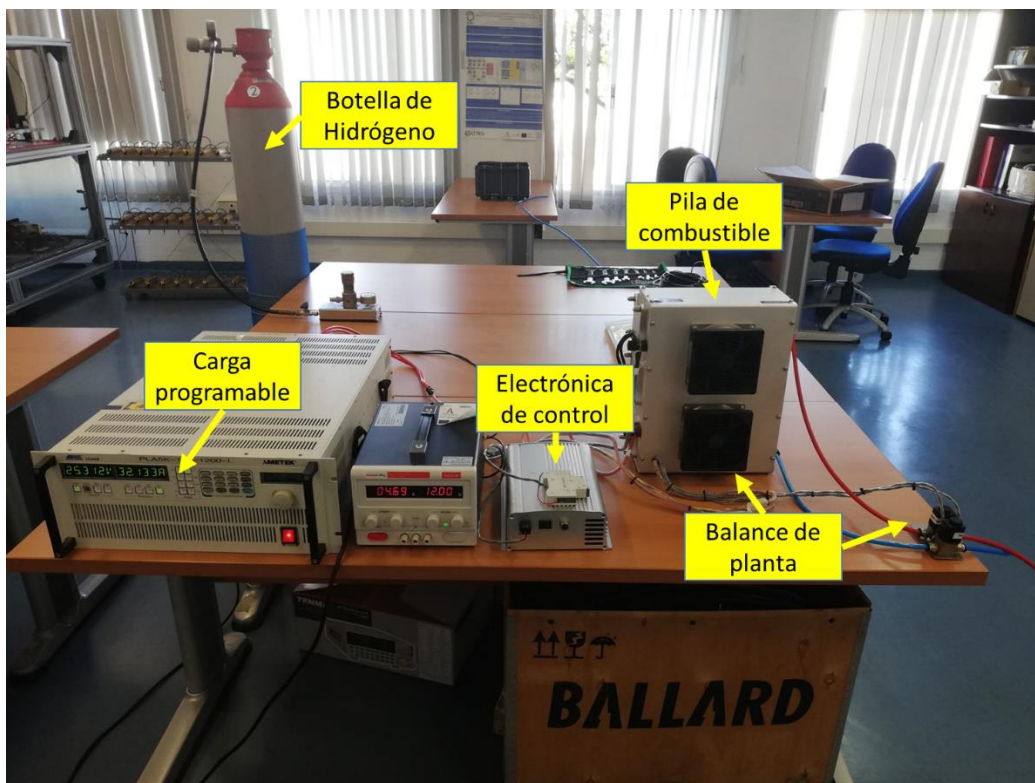


Figura 5. Detalle de los desarrollos ejecutados en el laboratorio

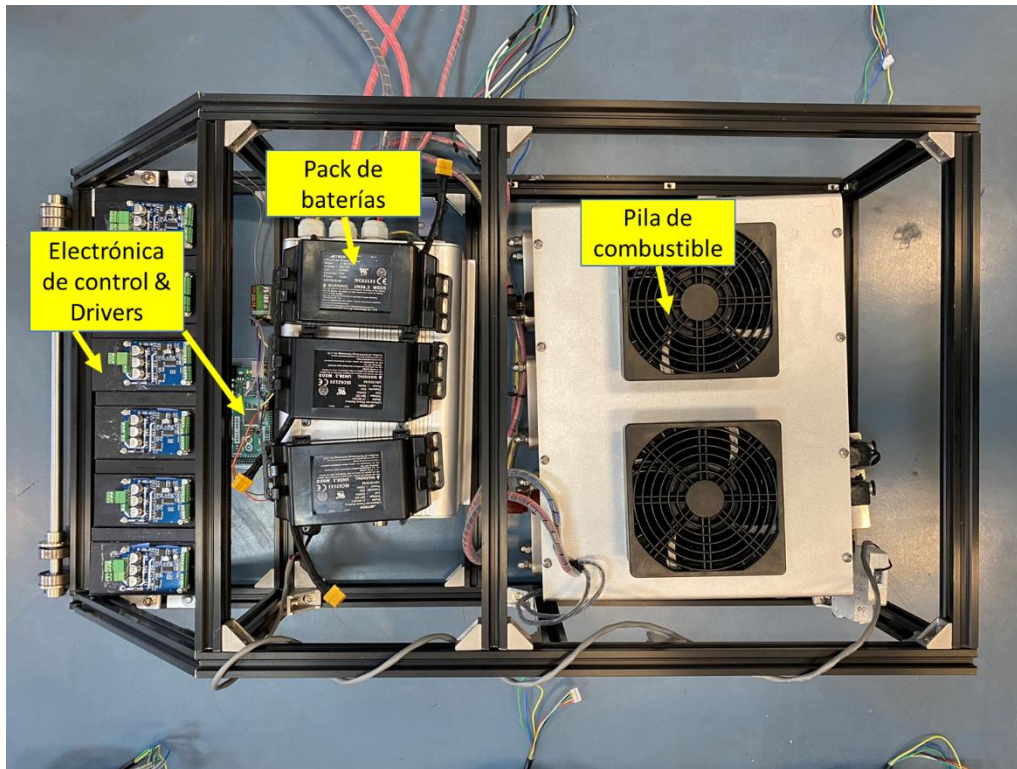


Figura 6a. Vista 1. Detalle de la estructura final del prototipo, electrónica de control y adquisición

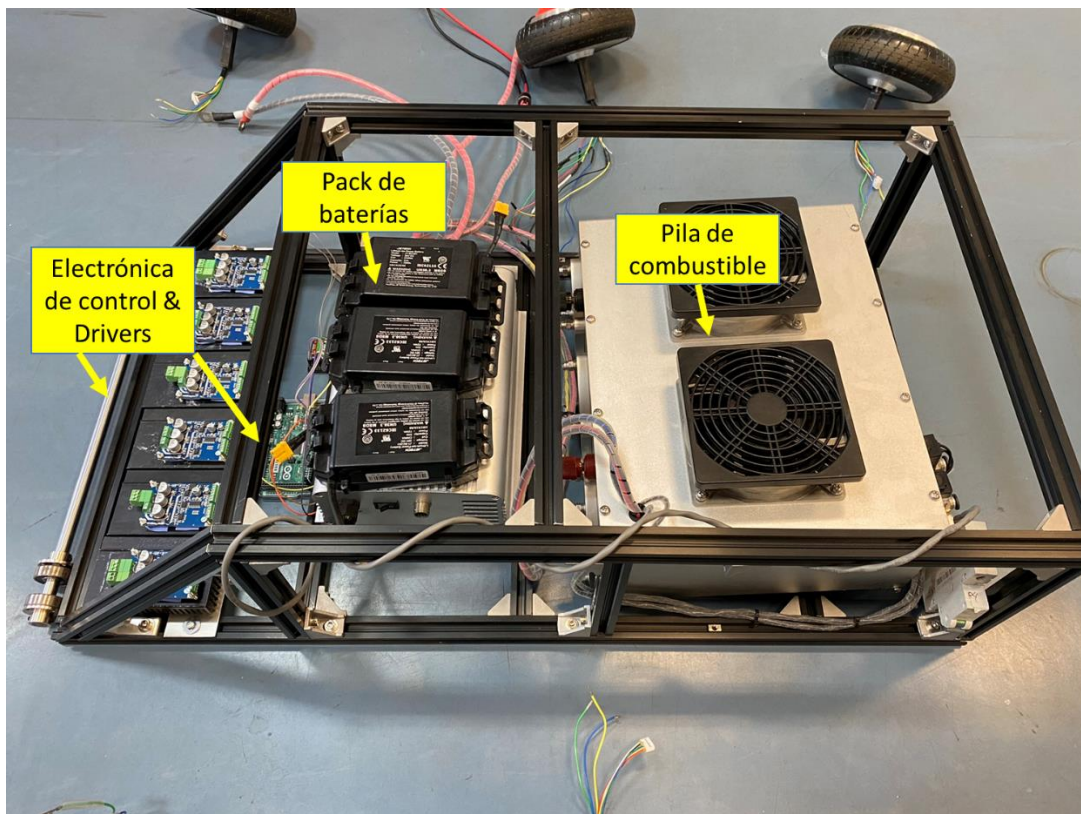


Figura 6b. Vista 2. Detalle de la estructura final del prototipo, electrónica de control y adquisición

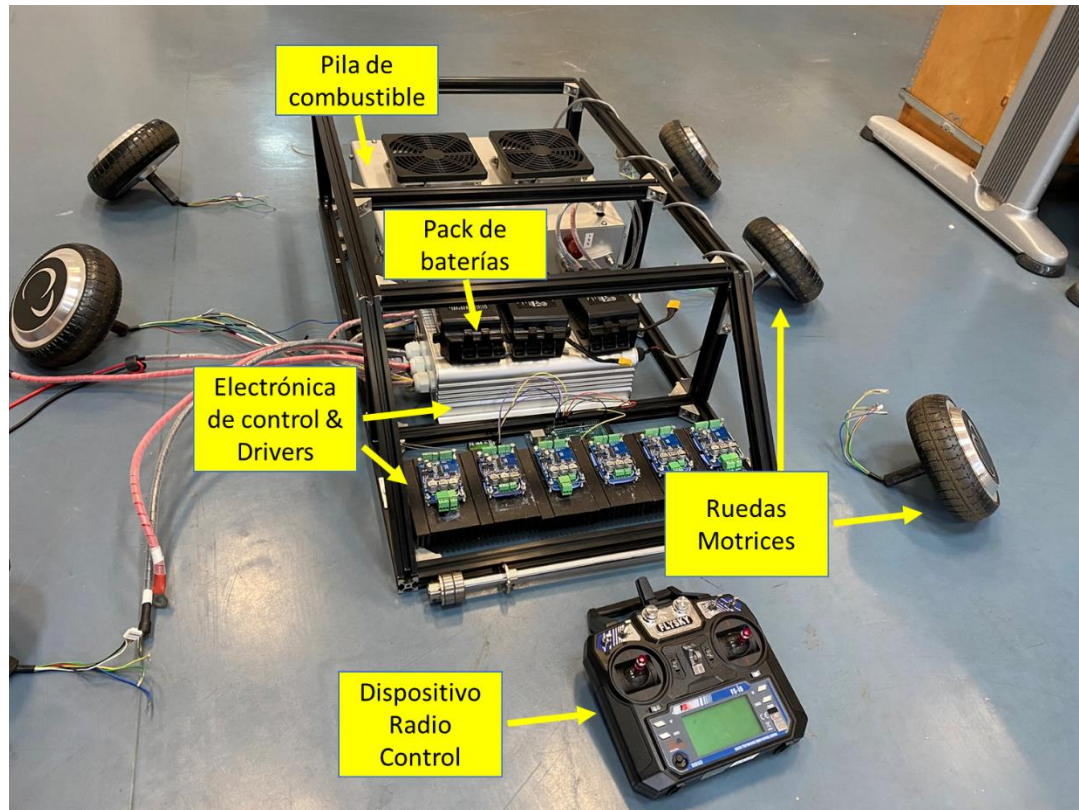


Figura 6c. Vista 3. Detalle de la estructura final del prototipo, electrónica de control y adquisición

T6. Implementación y testeo del sistema de propulsión basada en hidrógeno para la plataforma robótica terrestre

Implementación y testeo a nivel de laboratorio del sistema de propulsión eléctrica prototipo.

En esta tarea se desarrollaron toda la batería de ensayos para la validación del sistema de propulsión eléctrica para su uso en una futura misión terrestre.

En la sección de resultados obtenidos se detallan los tests desarrollados y las prestaciones obtenidas del sistema de propulsión híbrida prototipo. Toda la información relativa fue almacenada en forma de informe técnico para posterior uso o reproducción.

Grado de ejecución: Realizada.

OE5. Transferencia y difusión de los resultados

T7. Transferencia de tecnología y difusión de resultados

Transferir, difundir, y en futuros proyectos, aplicar el know-how y desarrollos fruto del presente proyecto en sistemas reales o en proyectos de mayor complejidad.

En este sentido, fruto de los trabajos aquí realizados, se presentará una nueva propuesta de proyecto de investigación en el marco de la convocatoria de proyectos de Generación de Conocimiento del Plan Estatal.

Grado de ejecución: Realizada.

4.3 Resultados obtenidos

En la presente sección se detallan los resultados y conclusiones obtenidas de los diferentes test y pruebas realizadas a lo largo del proyecto sobre la plataforma eléctrica híbrida.

4.3.1. Validación y caracterización del sistema de pila de combustible

En esta primera sección, los resultados aquí propuestos pretenden validar y caracterizar el sistema de pila de combustible.

En concreto, sobre el sistema de pila de combustible se realizaron varios ensayos. Debido a que el proyecto se basa sobre una pila de combustible ya existente, los primeros test se centraron en su caracterización. De estas primeras pruebas se llegó a la conclusión que la pila de combustible presentaba una gran degradación de potencia debido al elevado tiempo almacenada sin uso y degradación previa.

Tras ello, se realizó un ingente esfuerzo centrado en la recuperación de las prestaciones de la pila de combustible. Para ello, se implementaron diferentes protocolos de recuperación sobre la pila de combustible en base a la literatura científica y las recomendaciones del fabricante. Estas medidas correctoras permitieron la recuperación parcial de la pila de combustible, permitiéndose una extracción de potencia máxima en torno a 1.2 kW, suficiente para el alcance del proyecto.

Es importante reseñar que los test realizados no sólo permitieron recuperar la pila de combustible, sino también validar el correcto comportamiento del sistema de control y adquisición de datos. En todo momento, el balance de planta desarrollado, su control y la gestión térmica de la pila de combustible demostraron un comportamiento robusto y dentro de lo esperado.

Las Figuras 7 y 8 muestran la curva de polarización obtenida para la pila de combustible y las termografías obtenidas de los ensayos a potencia máxima tras los diferentes protocolos de recuperación.

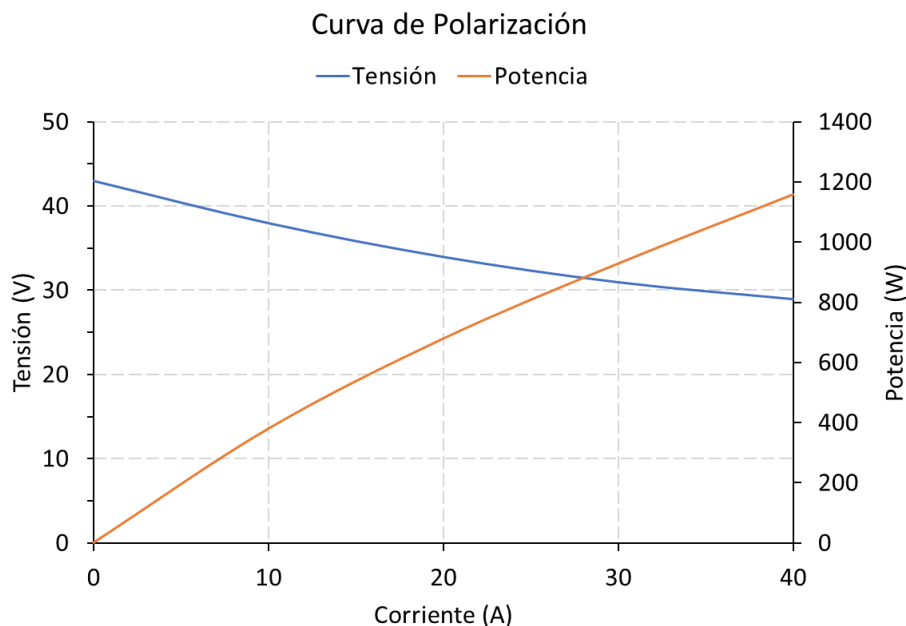


Figura 7. Curva de polarización de la pila de combustible en el estado actual

Respecto a las termografías hay que destacar la homogénea distribución de temperatura en la pila de combustible, dentro del rango de temperatura máxima definida por el fabricante.

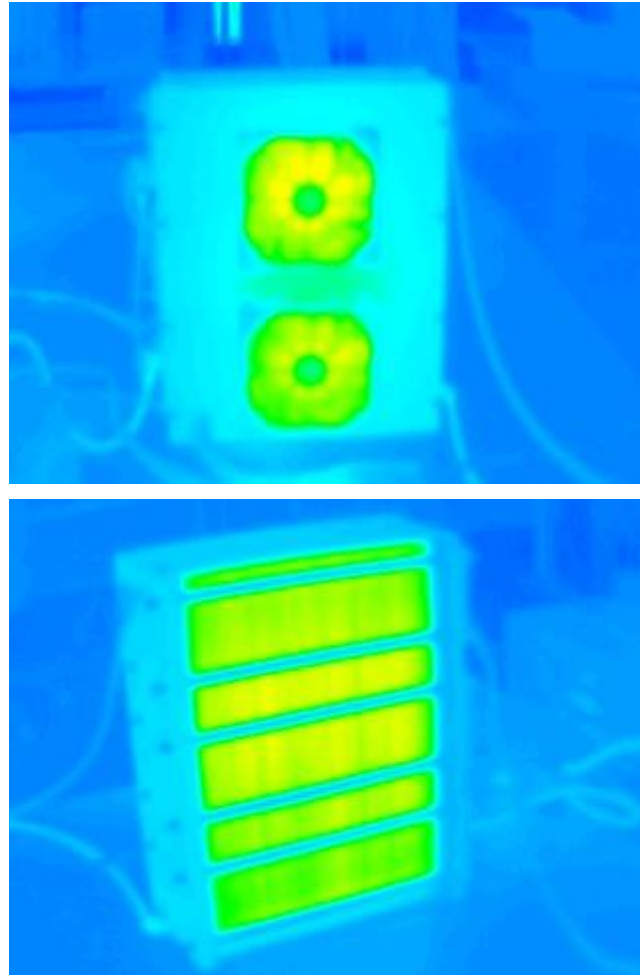


Figura 8. Termografías de la pila de combustible durante ensayo de caracterización

4.3.2. Definición del perfil Tipo

Los trabajos englobados dentro de este apartado tuvieron como objetivo el diseño de un perfil de consumo tipo que permita validar y comprobar las mejoras de las prestaciones del sistema de propulsión eléctrica híbrida propuesto, respecto al actual.

Para tal finalidad, en primera instancia, se implementaron varios ensayos sobre una plataforma terrestre similar a la desarrollada para la adquisición de perfiles de consumo típicos para diferentes condiciones del terreno, en reposo, en una trayectoria recta, con curvas suaves o perfiles con curvas muy bruscas. Los perfiles de consumo de referencia obtenidos se muestran en las Figuras 9, 10, 11 y 12.

Estos perfiles fueron la base para el diseño de un perfil de prueba de referencia basado en las condiciones de un futuro circuito real mostrado en la Figura 13. Este perfil fue diseñado para

evaluar el comportamiento de ambas plataformas ante condiciones similares a la de una misión terrestre para una duración de aproximadamente 2.5-3 h.

REPOSO

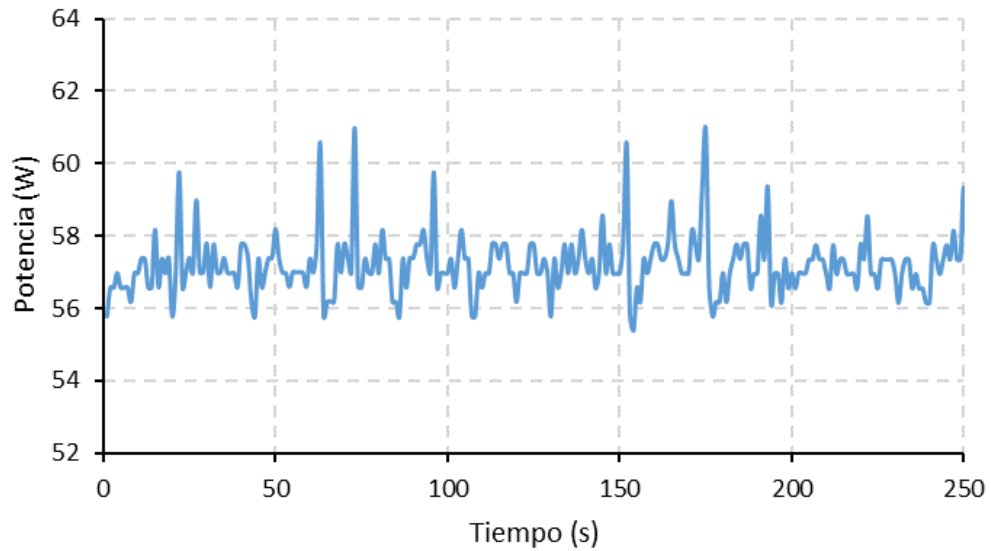


Figura 9. Perfil de consumo de potencia de referencia para el estado de reposo

RECTO

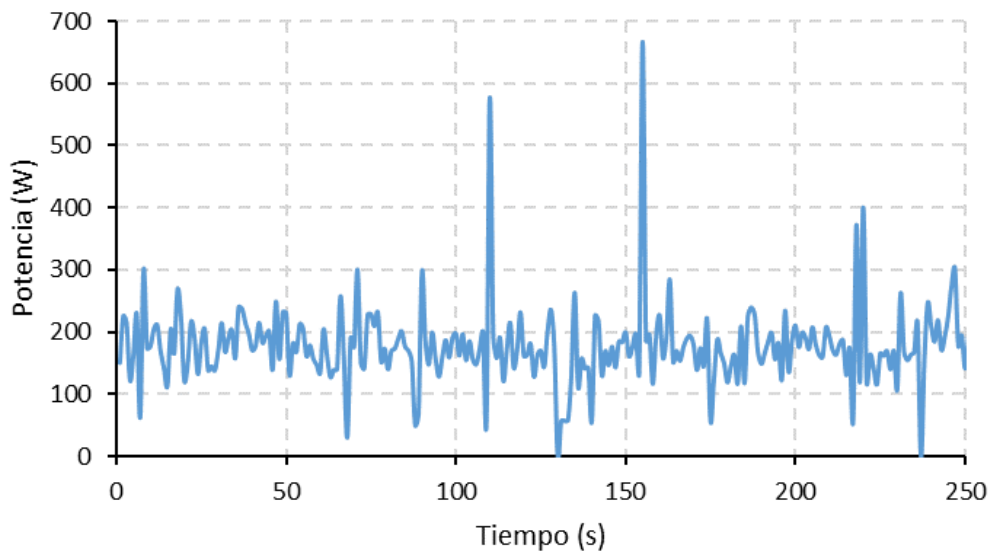


Figura 10. Perfil de consumo de potencia de referencia para trayectorias rectas

RECTO+CURVA SUAVE

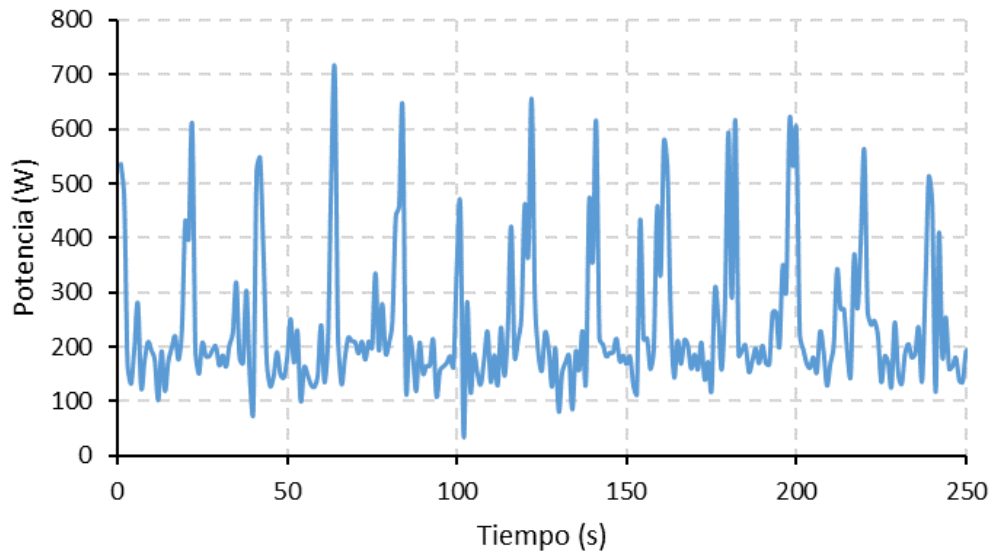


Figura 11. Perfil de consumo de potencia de referencia para trayectorias rectas con curvas suaves

CURVA CERRADA

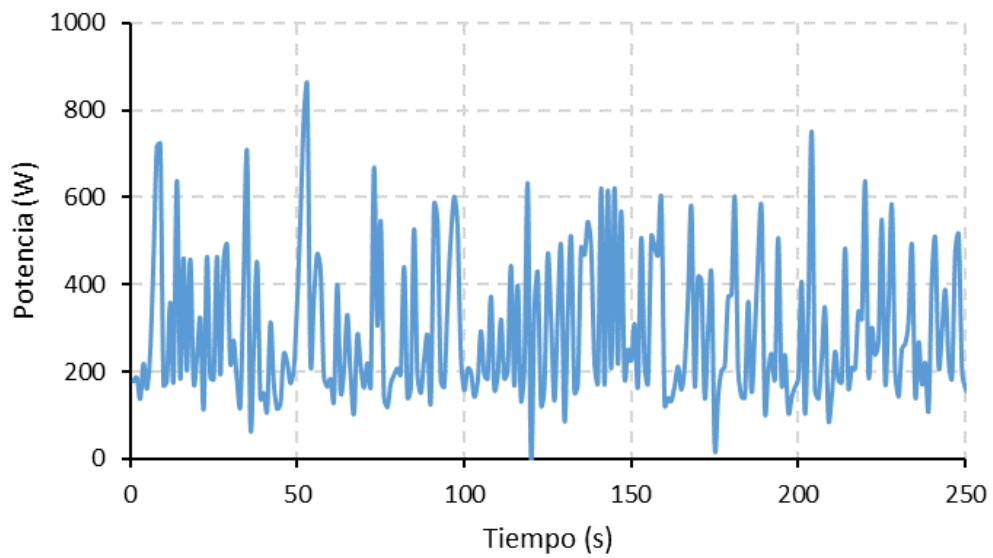


Figura 12. Perfil de consumo de potencia de referencia para trayectorias con curvas abruptas

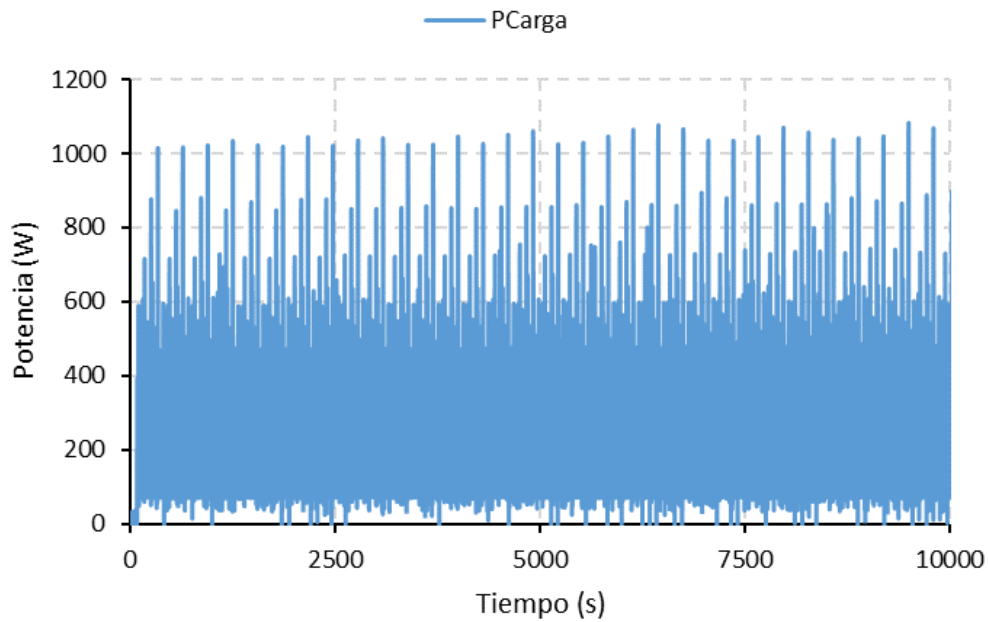


Figura 13. Perfil de consumo de potencia de referencia

4.3.3. Evaluación del sistema de propulsión eléctrica actual

En este apartado se evaluó el comportamiento del sistema de propulsión eléctrica actual integrado en el vehículo terrestre. Este sistema viene determinado por un pack de cuatro baterías de tecnología de Litio en serie, que determina una tensión nominal de 40 VDC aproximadamente y una capacidad energética de unos 650 Wh.

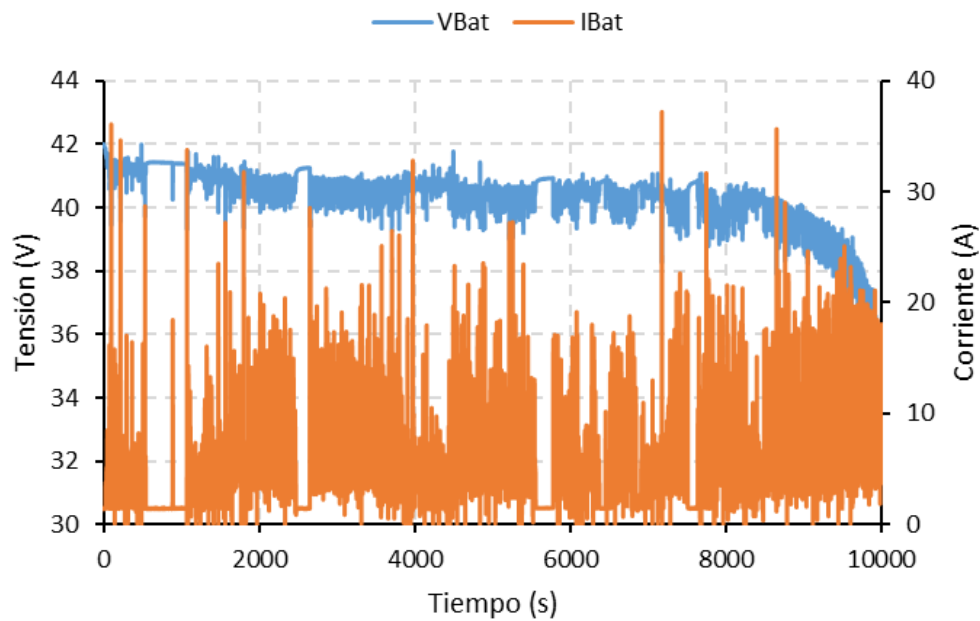


Figura 14. Variables de tensión y corriente de batería para el test de propulsión eléctrica actual

Este ensayo se realizó tras la carga completa del pack de baterías, y consistió en la descarga completa del pack de baterías mediante la implementación del perfil tipo recogido en la Figura 13 en una carga programable. La condición de parada del ensayo se por el alcance de la tensión mínima recomendada por el fabricante de las baterías de 37 V aproximadamente. En todo momento, se monitorizaron la corriente y tensión del pack de baterías, obteniéndose los perfiles mostrados en la Figura 14.

De este ensayo se obtuvo que la autonomía del sistema de propulsión eléctrica actual era de aproximadamente 2.77 h, con una energía máxima extraíble del pack de baterías de unos 600 Wh aproximadamente.

4.3.4. Evaluación del sistema de propulsión eléctrica híbrida propuesto

En este apartado se evaluó el comportamiento del sistema de propulsión eléctrica híbrido propuesto atendiendo a la arquitectura definida en la Figura 3 y la lógica de control descrita en la Figura 4.

Para el desarrollo de la prueba, se partió de una condición inicial idéntica al del caso anterior, pack de baterías completamente cargado y sistema de hidrógeno con capacidad teórica ilimitada, representado por el suministro de hidrógeno existente en el laboratorio. Igualmente, el sistema se sometió al mismo perfil tipo definido en la Figura 13.

En este caso, el objetivo del ensayo era validar el comportamiento del sistema híbrido, no tanto evaluar las prestaciones respecto a la solución actual, debido a que la selección de componentes se vio comprometida por restricciones en el presupuesto y disponibilidad de stock en las instalaciones, no siendo por ende la solución técnica más aconsejable para el rango de potencias del prototipo.

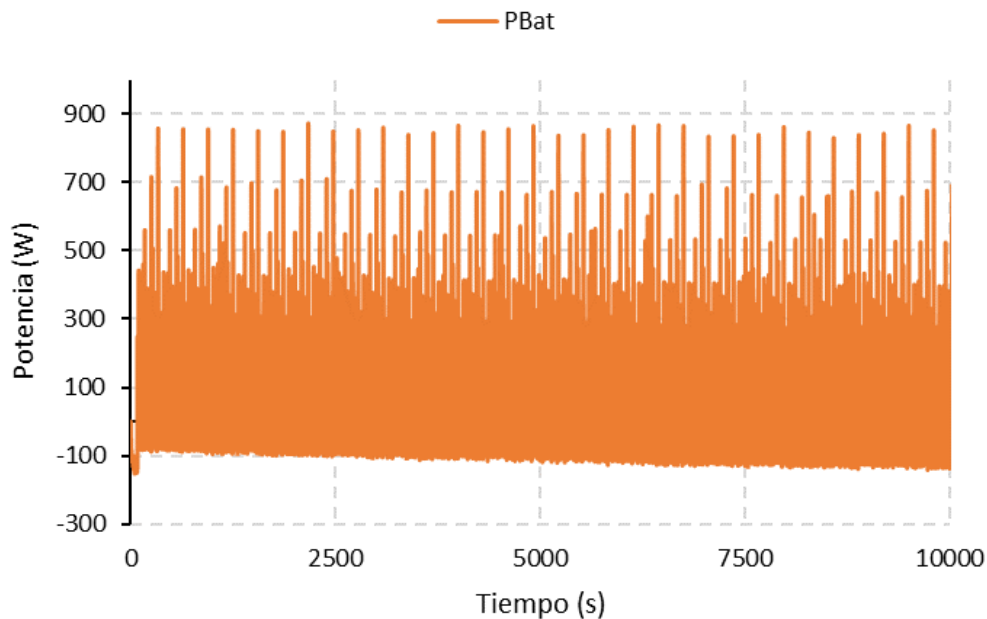


Figura 15. Variable potencia de batería para el test sobre el sistema de propulsión eléctrica híbrida propuesto

Así pues, las gráficas obtenidas para las potencias del pack de baterías y pila de combustible se muestran en las Figuras 15 y 16 respectivamente. En ellas se aprecia como la pila de combustible actúa como sistema de respaldo del pack de baterías, aportando la potencia requerida en función de la tensión de operación, impuesta por la arquitectura pasiva implementada. La tensión del bus de DC impuesto por el pack de baterías se muestra en la Figura 17.

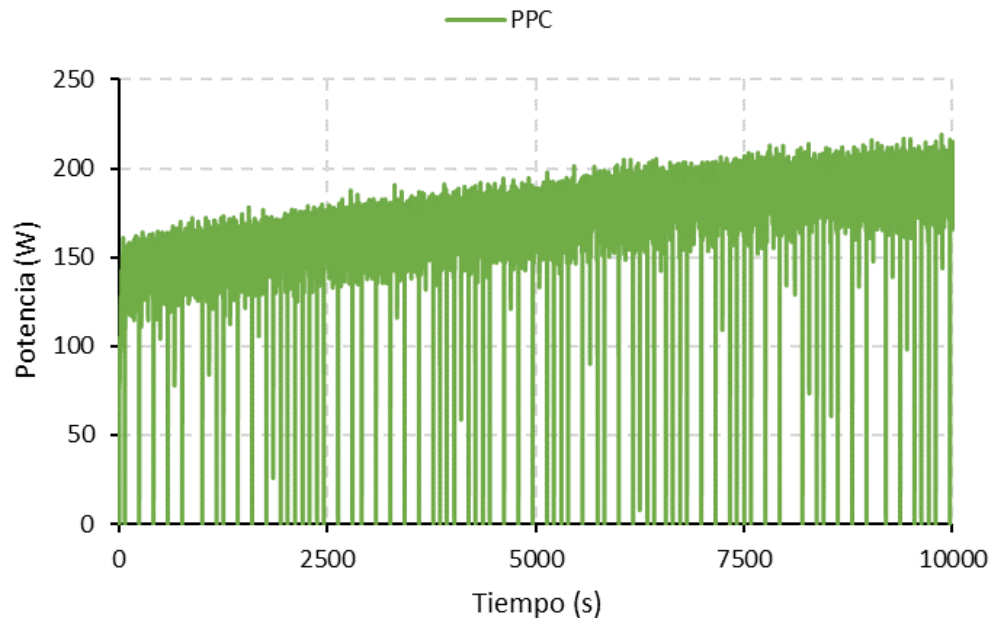


Figura 16. Variable potencia de la pila de combustible para el test sobre el sistema de propulsión eléctrica híbrida propuesto

Si se analiza detenidamente el comportamiento potencia de pila de combustible – tensión del pack de baterías, se comprueba que la constante descarga del pack de baterías (potencia positiva del perfil de la Figura 15) provoca que la tensión del bus de DC interno se reduzca paulatinamente con el tiempo. Al reducir la tensión del bus de DC, se provoca que el punto de operación de la pila de combustible se desplace hacia valores de tensiones inferiores, en definitiva, hacia potencias superiores de operación, de acuerdo con su curva de polarización (ver Figura 7). Esta condición es interesante, ya que el sistema de propulsión híbrido eléctrico propuesto presenta una cierta capacidad de autorregulación, aportando más potencia cuando más se necesita, es decir, con forme la batería se acerque más a su límite inferior de energía almacenada.

Todo lo anterior repercute en un proceso de descarga de batería más suave, con una potencia promedio equivalente de descarga más reducida y estable en el tiempo. Esto no sólo provoca que la autonomía del sistema aumente, sino que el perfil de tensión del bus de DC sea más estable y presente unas fluctuaciones de menor amplitud (ver Figura 17).

Una forma de poder comprobar el aumento en la autonomía del sistema consiste en analizar la tensión del bus de DC respecto al tiempo. En realidad, el parámetro de tensión está directamente relacionado con la capacidad de energía almacenada en el pack de baterías, por lo que, para un tiempo de test similar, tensiones superiores del bus de DC se relacionan con mayor energía almacenada, y, por ende, con mayor tiempo de operación (autonomía) del sistema de propulsión.

Si se analiza el test para el instante $t = 10000$ s, comprobamos que, para el ensayo del sistema de propulsión eléctrica, la tensión del pack de baterías alcanzó su valor mínimo fijado en torno a 37 V (Figura 14). Para la arquitectura híbrida, la tensión del pack de baterías era de 40.5 V aproximadamente (Figura 17).

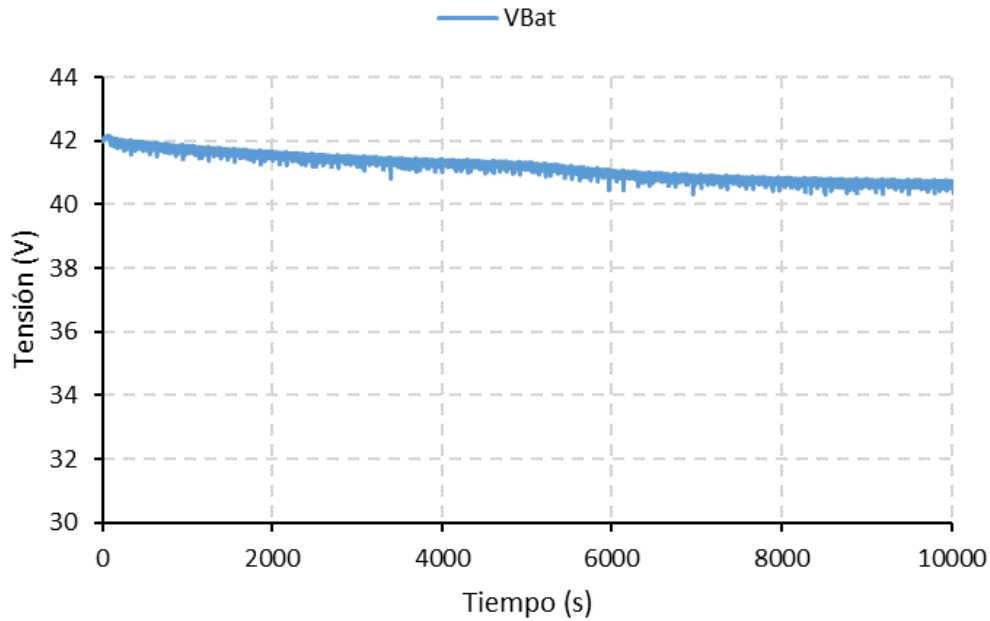


Figura 17. Variable tensión de batería para el test sobre el sistema de propulsión eléctrica híbrida propuesto

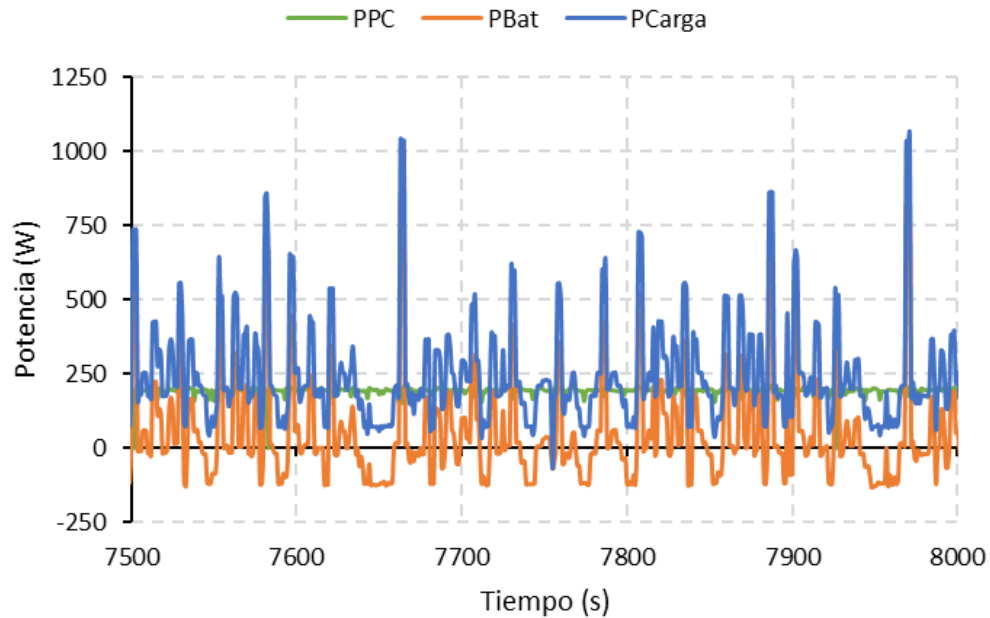


Figura 18. Detalle de las potencias de batería, pila de combustible y carga para un periodo el test sobre el sistema de propulsión eléctrica híbrida propuesto

Otro punto interesante que resaltar de la arquitectura pasiva utilizada es que el balance de potencia es siempre garantizado en el bus mediante el pack de baterías sin la necesidad de complejos algoritmos de control externos o el uso de convertidores de potencia. Esto puede apreciarse fácilmente si se analiza el perfil de potencia del pack de baterías en el que aparecen potencias con valores negativos (carga del pack de baterías). Estas potencias se corresponden a periodos de tiempo en los que el perfil de demanda tipo es inferior a la potencia de operación de la pila de combustible, la cual se mantiene estable a lo largo del tiempo en función de la tensión del bus de DC. Este efecto se aprecia con más detalle en la Figura 18.

En última instancia, se obtuvo el perfil de hidrógeno consumido por la pila de combustible, el cual fue calculado y no medido, mediante el empleo de la Ley de Faraday y las mediciones de corriente de operación, Figura 19. Estos valores permiten cuantificar el hidrógeno necesario para el tiempo de misión seleccionado, y por ende, dimensionar el volumen y presión de los futuros tanques de almacenamiento de hidrógeno gas. Lógicamente, estos valores variarán en función del perfil tipo, pila de combustible, etc.

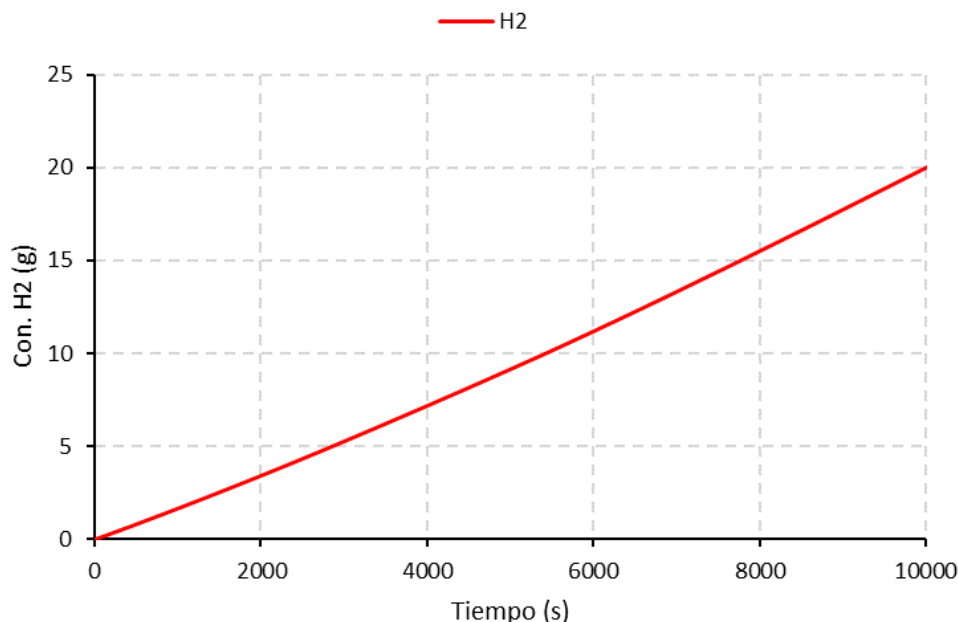


Figura 19. Consumo de hidrógeno por parte de la pila de combustible para el test sobre el sistema de propulsión eléctrica híbrida propuesto

A tenor de los resultados, se puede validar que:

- La arquitectura de sistema de propulsión híbrida eléctrica basada en hidrógeno es técnicamente viable, fiable y robusta, y por lo tanto se valida su uso en aplicaciones de propulsión de vehículos terrestres.
- La electrónica de adquisición y control del sistema mostró un correcto funcionamiento durante un test de larga duración con excelentes resultados.

Como futuras líneas de trabajo se proponen:

- El diseño de sistemas de adquisición y control más potentes y sofisticados que permitan integrar comunicación inalámbrica y lectura de sensores más complejos.

- El dimensionado del pack de baterías y sistema de hidrógeno para adecuar los límites de potencia a la aplicación. Esto permitirá reducir pesos y costes, y posiblemente, simplificar en gran medida el balance de planta y otras necesidades.

4.4 Difusión, divulgación y valorización social

A lo largo de toda la vida del proyecto se ha realizado una labor de difusión intensa, la cual se refleja en los siguientes puntos:

- Visitas guiadas a los laboratorios del CITES de empresas y alumnos de la Universidad, en las cuales se expusieron y explicaron los desarrollos y alcance del proyecto.
- Cursos específicos para formadores en materia de Hidrógeno y futuros especialistas y profesores de FP, en los cuales se expusieron y explicaron los desarrollos y alcance del proyecto.
- Participación del equipo investigador en el Talent-LAB en el acto “UHU es talento”, en este caso, como ponentes y como miembros de la mesa redonda. En dicho acto se explicaron los conceptos y aplicaciones de la tecnología del hidrógeno, usándose como ejemplo los desarrollos obtenidos del presente proyecto.
- Presentación del proyecto por parte del investigador principal en la actividad de divulgación organizada por la UCC+i de la Universidad de Huelva. En concreto, participación en un video para la promoción de los proyectos de investigación llevados a cabo en el Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad.

La Universidad de Huelva abordará en un curso las tecnologías del hidrógeno y sus aplicaciones presentes y futuras

La formación mostrará los aspectos esenciales del hidrógeno verde, llamado a capitalizar el modelo de transición energética y de descarbonización
¿Qué es el hidrógeno verde y para qué sirve?



Recreación de una planta de hidrógeno verde. / M. G.

M. G.
Huelva, 31 Agosto, 2023 - 11:36h



El **modelo global de transición energética y de descarbonización industrial**, en el que Huelva tiene mucho que decir, tiene entre sus protagonistas al **hidrógeno (H₂)**. Las múltiples aplicaciones de las tecnologías de hidrógeno abren un abanico muy amplio, y todo apunta a que supondrá una transformación de nuestra economía y del impacto sobre el medio ambiente.

https://www.huelvainformacion.es/huelva/Universidad-Huelva-tecnologias-hidrogeno-aplicaciones_0_1825617828.html

europapress / andalucía / educación

El Hidrógeno Verde protagoniza un curso de FP en el CEP Bollullos-Valverde (Huelva)



El delegado de Desarrollo Educativo y FP, Carlos Soriano, en su visita al curso. - JUNTA DE ANDALUCÍA

Europa Press Andalucía

f t i Newsletter

Publicado: jueves, 18 enero 2024 16:01
@epandalucia

HUELVA, 18 Ene. (EUROPA PRESS) -

El Centro Público del Profesorado Bollullos-Valverde ha celebrado una actividad formativa sobre 'Transferencia de la nueva tecnología de hidrógeno verde a la formación profesional, un curso que está dirigido exclusivamente al profesorado de FP, con prioridad en la adjudicación a los docentes que imparten enseñanzas en el CPIFP José Luis Graño de Palos de la Frontera.

Esta formación en concreto va dedicada especialmente a los profesionales de química, centrándose en los que imparten los módulos de 'Generación de Hidrógeno', 'Transporte de hidrógeno' y 'Reactores', temarios profesionales que caracterizan el primer Ciclo Formativo de Química Industrial especializado en hidrógeno verde de España, que se imparte ya en el citado centro educativo, según ha indicado la Junta en una nota.

Dicha formación se desarrollará en Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad (Cites) de la Universidad de Huelva (La Rábida) y será impartida por ponentes "de reconocido prestigio", que intervendrán en el I Congreso Nacional de Hidrógeno Verde.

El delegado de Desarrollo Educativo y FP, Carlos Soriano, ha visitado a los asistentes al curso y ha comentado que "el hidrógeno verde es fundamental para descarbonizar el planeta y cumplir con los objetivos de la UE y del Gobierno de España para el 2050 en la lucha contra el cambio climático".

"La inminente construcción de una gran central de Hidrógeno Verde en Huelva, que convertirá nuestra provincia en la principal central de Europa, supone una importante oferta laboral para la cual debemos tener personal cualificado en la temática", ha subrayado Soriano

La directora del CEP Bollullos-Valverde, Inmaculada Luque, por su parte, ha comentado que "desde el CEP se consideró oportuno formar al profesorado que imparte docencia en los ciclos de la familia profesional de Química, con el fin de que el alumnado adquiera una cualificación de calidad en la energía del futuro clave en la descarbonización". "El principal objetivo es dar una formación de calidad para que el alumnado adquiera las competencias profesionales requeridas en este nuevo sector que demanda mano de obra cualificada", ha añadido.

<https://teleonuba.es/el-hidrogeno-verde-protagonista-de-un-curso-de-fp-en-el-cep-bollullos-valverde/>

<https://www.europapress.es/andalucia/educacion-00651/noticia-hidrogeno-verde-protagoniza-curso-fp-cep-bollullos-valverde-huelva-20240118160133.html>

CULTURA

La UHU lleva a cabo un Talent Lab sobre eficiencia, recursos naturales y economía circular contando con TFG y TFM de alumnos

- El Consejo Andaluz del Agua y empresas como Gabitel Ingenieros, GTA o Matsa subrayan la necesidad de apostar por un emprendimiento 'verde' y la innovación tecnológica en materias primas sostenibles en el marco del proyecto europeo HEI4S3-RM.



Talent Lab.

h REDACCIÓN

26/JUN./23

El Aula de Grados de la **Facultad de Ciencias Experimentales** ha acogido el acto de constitución del 'Talent Lab on Responsible and efficient consumption of natural resources and circular economy' (Consumo Responsable y Eficiente de los Recursos Naturales y Economía Circular) de la **Universidad de Huelva**.

Se trata de una importante y ambiciosa iniciativa enmarcada en el proyecto '**Building Ecosystem Integration Labs at HEI to foster Smart Specialization and Innovation on Sustainable Raw Materials**' (HEI4S3-RM), y que cuenta con la colaboración del proyecto europeo 'Sustainable Horizons'. La jornada de constitución del **Talent Lab** de la Onubense con **Reyes Sánchez Herrera**, directora de la Oficina de Transferencia de Resultados de la Investigación (OTRI), y con **Miguel Carvajal Zaera**, responsable de Dirección de Proyectos de Investigación, como coordinadores en la UHU del proyecto **HEI4S3-RM**.

<https://www.uhu.es/comunicacion/noticias/la-uhu-pone-en-valor-un-talent-lab-sobre-eficiencia-recursos-naturales-y-economia-circular>

5. ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA

Finalmente, atendiendo a la transferencia, reseñar que los trabajos fruto del proyecto están permitiendo el desarrollo del Trabajo Fin de Grado (TFG) de los alumnos Juan Molina Santos y Rafael Gómez Álvarez, pertenecientes al Grado en Ingeniería Electrónica Industrial, con título Sistema de propulsión eléctrica para RPAS basado en la hibridación de baterías y pila de combustible, y bajo la dirección del Dr. José Manuel Andújar Márquez, del Dr. Arturo Aquino Martín, y del IP de este proyecto.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Calderón AJ, Vivas FJ, Segura F, Andújar JM. Integration of a multi-stack fuel cell system in microgrids: A solution based on model predictive control. *Energies* 2020;13. doi:10.3390/en13184924.
- [2] Fernández FJV, de las Heras Jiménez A, Manzano FS, Márquez JMA. An energy management strategy and fuel cell configuration proposal for a hybrid renewable system with hydrogen backup. *Sustainable Infrastructure: Breakthroughs in Research and Practice* 2019;133–57. doi:10.4018/978-1-7998-0948-7.ch006.
- [3] Andújar JM, Vivas FJ, Segura F, Calderón AJ. Integration of air-cooled multi-stack polymer electrolyte fuel cell systems into renewable microgrids. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 2022;142. doi:10.1016/j.ijepes.2022.108305.
- [4] Monforti Ferrario A, Bartolini A, Segura Manzano F, Vivas FJ, Comodi G, McPhail SJ, et al. A model-based parametric and optimal sizing of a battery/hydrogen storage of a real hybrid microgrid supplying a residential load: Towards island operation. *Advances in Applied Energy* 2021;3:100048. doi:10.1016/j.adapen.2021.100048.
- [5] Ferrario AM, Vivas FJ, Manzano FS, Andújar JM, Bocci E, Martirano L. Hydrogen vs. Battery in the long-term operation. A comparative between energy management strategies for hybrid renewable microgrids. *Electronics (Switzerland)* 2020;9:1–28. doi:10.3390/electronics9040698.
- [6] Mancera JJC, Manzano FS, Andújar JM, Vivas FJ, Calderón AJ. An optimized balance of plant for a medium-size PEM electrolyzer. Design, control and physical implementation. *Electronics (Switzerland)* 2020;9. doi:10.3390/electronics9050871.
- [8] De las Heras A, Vivas FJ, Segura F, Andújar JM. From the cell to the stack. A chronological walk through the techniques to manufacture the PEFCs core. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018;96:29–45. doi:10.1016/j.rser.2018.07.036.
- [9] Vivas FJ, Segura F, Andújar JM, Calderón AJ, Isorna F. Battery-based storage systems in high voltage-DC bus microgrids. A real-time charging algorithm to improve the microgrid performance. *Journal of Energy Storage* 2022;48. doi:10.1016/j.est.2021.103935.
- [10] López González E, Sáenz Cuesta J, Vivas Fernandez FJ, Isorna Llerena F, Ridao Carlini MA, Bordons C, et al. Experimental evaluation of a passive fuel cell/battery hybrid power system for an unmanned ground vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019;44:12772–82. doi:10.1016/j.ijhydene.2018.10.107.
- [11] De las Heras A, Vivas FJ, Segura F, Redondo MJ, Andújar JM. Air-cooled fuel cells: Keys to design and build the oxidant/cooling system. *Renewable Energy* 2018;125:1–20. doi:10.1016/j.renene.2018.02.077.
- [12] de las Heras A, Vivas FJ, Segura F, Andújar JM. How the BoP configuration affects the performance in an air-cooled polymer electrolyte fuel cell. Keys to design the

best configuration. *International Journal of Hydrogen Energy* 2017;42:12841–55.
doi:10.1016/j.ijhydene.2016.11.051.

- [13] Andújar JM, Segura F, Rey J, Vivas FJ. Batteries and Hydrogen Storage: Technical Analysis and Commercial Revision to Select the Best Option. *Energies* 2022;15. doi:10.3390/en15176196.