



Fundación
Domingo
Martínez

INFORME FINAL DE LA AYUDA A LA INVESTIGACIÓN DE LA FUNDACIÓN DOMINGO MARTÍNEZ

**DESARROLLO DE ELECTROLIZADORES MÁS EFICIENTES Y
COMPETITIVOS BASADOS EN ELECTRODOS PREPARADOS
MEDIANTE LA TÉCNICA DE PULVERIZACIÓN CATÓDICA**

**Departamento de Ingeniería Química
Universidad de Castilla-La Mancha**

**Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla
Consejo Superior de Investigaciones Científicas**

Antonio de Lucas Consuegra
Catedrático de Ingeniería Química de la Universidad de Castilla La Mancha
Investigador principal de la ayuda



Fundación
Domingo
Martínez

ÍNDICE

A. Datos del proyecto	Pág.2
B. Personal activo en el proyecto	Pág. 2
C. Resumen de los principales resultados del proyecto	Pág. 3
D. Actividades de transferencia (relación con la industria y patentes)	Pág. 5
E. Producción científica (Artículos científicos y Tesis Doctorales)	Pág. 5
F. Reuniones con el comité y publicaciones en periódicos	Pág. 7



A) DATOS DEL PROYECTO.

Título del proyecto. DESARROLLO DE ELECTROLIZADORES MÁS EFICIENTES Y COMPETITIVOS BASADOS EN ELECTRODOS PREPARADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE PULVERIZACIÓN CATÓDICA.

Investigador principal: Antonio de Lucas Consuegra.

Entidad beneficiaria: Universidad de Castilla La Mancha.

Centro: Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas. Edificio Enrique Costa Novella.

Fecha de inicio del proyecto: 01/09/2020;

B) PERSONAL ACTIVO EN EL PROYECTO

-Antonio de Lucas Consuegra. Catedrático de Ingeniería Química de la Universidad de Castilla La mancha. **Investigador principal del proyecto**

-Fernando Dorado Fernández. Catedrático de Ingeniería Química de la Universidad de Castilla La mancha.

-Ana Raquel de la Osa. Profesor Contratado Doctor del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Castilla La mancha

-Agustín Rodríguez González-Elipe. Profesor de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Sevilla.

-Jorge Gil Rostra. Investigador Doctor FC. CSIC, personal laboral indefinido en el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla.

-Francisco Yubero Valencia. Investigador científico senior del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Sevilla.

-Ester López Fernández. Investigadora postdoctoral. (Tesis Doctoral realizada en las actividades del proyecto)

-Celia Gómez Sacedón. Ingeniera Química y contratada con cargo al proyecto FDM.

Es importante señalar que durante la realización del proyecto se ha mantenido una colaboración conjunta y cercana entre los dos grupos de investigación (UCLM-CSIC) que

ha permitido aprovechar la experiencia investigadora de ambos grupos, dotando al proyecto de un importante enfoque multidisciplinar. En este sentido, se han mantenido reuniones prácticamente semanales y se ha realizado un importante número de estancias investigadoras de las investigadoras Ester y Celia en las instalaciones del CSIC para llevar a cabo las tareas de fabricación de electrodos y caracterización.

C) RESUMEN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS DEL PROYECTO DESDE SU CONCESIÓN

Con el fin de contribuir a la creciente utilización y gestión de las energías renovables, es necesario desarrollar sistemas de almacenamiento energético, eficientes, competitivos y sostenibles con el medio ambiente. Una de las vías más prometedoras consiste en la utilización del hidrógeno como vector energético, obtenido mediante electrólisis de agua, y posteriormente valorizarlo en una celda de combustible. En el presente proyecto se *está desarrollando un nuevo tipo de electrolizador, más eficiente, económico y competitivo para la producción renovable y sostenible de hidrógeno*. Para ello, se están empleando membranas comerciales de intercambio aniónico (conductoras de iones OH⁻), *que permiten trabajar con ánodos y cátodos basados en metales no nobles de bajo coste económico como son: níquel, óxidos de níquel, óxidos de cobalto, óxidos de cobre, entre otros*. Para ello se ha empleado de forma muy satisfactoria la técnica de pulverización catódica (“*magnetron sputtering*”) para la preparación de estos electrodos en forma de láminas ultradelgadas, *lo que ha permitido reducir considerablemente el contenido metálico de los mismos y trabajar sin moléculas de ionómero en los catalizadores*. Tras la caracterización físico-química de los electrodos, se han realizado estudios experimentales en semicelda electroquímica, para la selección de electrodos más eficientes y activos. Adicionalmente se ha realizado *un escalado a un electrolizador completo (área de electrodo = 5 cm²)*, a partir de diversas configuraciones/ensamblajes, membrana-electrodos (MEAs), para su testeo en condiciones reales de trabajo utilizando corrientes de agua con diversas concentraciones de electrolito. Además, se han estudiado distintas configuraciones de electrolizador modificando las capas de difusión de gases GDLs, las membranas y las condiciones de ensamblaje. Todo ello ha permitido optimizar el funcionamiento de la MEA, obteniéndose los mejores resultados publicados en

bibliografía en términos de actividad másica (1086 mA mg^{-1}). Adicionalmente, se ha probado la estabilidad del sistema durante largos periodos de operación, lo que evidencia las grandes posibilidades de aplicación práctica del electrolizador desarrollado.

Por otro lado, *se ha realizado un acoplamiento del electrolizador a fuentes de energía renovable, mediante una hibridación matemática a un panel fotovoltaico*. Se ha realizado un estudio teórico matemático de acoplamiento electrolizador-panel fotovoltaico y además se ha construido una unidad demostración a escala de laboratorio en la que se ha acoplado un panel fotovoltaico al electrolizador desarrollado en el proyecto. Para ello se adquirió un panel fotovoltaico y se realizó en primer lugar el acoplamiento teórico de la curva del panel y del electrolizador. Posteriormente se comprobaron las condiciones de funcionamiento del mismo, verificando su funcionamiento durante largos periodos de operación. Esta unidad de demostración se encuentra ubicada en las instalaciones del grupo de investigación de la Universidad de Castilla-La Mancha y fue visitada durante la visita del comité de la Fundación en la reunión mantenida en Ciudad Real en Septiembre del 2021.

En la última etapa del proyecto se han realizado experimentos de electrólisis híbrida agua-alcoholes. Esta tarea consiste en explorar la versatilidad de los electrodos fabricados en la electrólisis simultánea de agua y etanol, con objeto de disminuir el consumo energético del hidrógeno producido. De este modo, la exploración de este tipo de electrólisis ha permitido mejorar el consumo energético asociado al hidrógeno producido, disminuyendo en aproximadamente en un 10 % el consumo energético asociado al Hidrógeno producido. En base a estos resultados este tipo de electrólisis se postula como una alternativa a la electrólisis de agua convencional, mejorando el consumo energético de la misma, facilitando la generación de productos de alto valor añadido en el ánodo de la celda fruto de la electro-oxidación del etanol y abriendo las puertas a eliminar la membrana del sistema, al evitar la reacción de evolución de oxígeno en el ánodo.

Este documento es tan solo un resumen de la gran cantidad de experimentación realizada y que se encuentra detallada y analizada de forma exhaustiva en las publicaciones científicas asociadas al proyecto y que se referencian más adelante y se incluyen como anexo del presente informe.

D) ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA (relación con la industria y patentes)

Fruto del trabajo realizado en el marco del proyecto la empresa *H2B2 electrolysis Technologies* de la mano de Javier Brey (presidente de la Asociación Española del Hidrógeno), se interesó por los resultados obtenidos y se ofreció a la participación en un consorcio de investigación UCLM-CSIC además de investigadores del CIEMAT para la participación en la convocatoria del CDTI Misiones, que pretende el desarrollo de un stack de electrolisis (1 kW para el 2022 y 10 kW para el 2023) basado en la tecnología propuesta en el presente proyecto. Este proyecto ha sido evaluado positivamente y financiado y tiene por título general: “*Fabricación, caracterización y análisis de eficiencia de electrocatalizadores para electrolizadores de intercambio iónico*”, proyecto ECLOSION (Enero 2022-Diciembre 2024). Este proyecto, que se encuentra en un estado avanzado de desarrollo, tiene como objeto incorporar electrocatalizadores más eficientes en forma de capas preparados mediante la técnica de pulverización catódica. Este proyecto, supone por tanto una extraordinaria oportunidad de escalado del prototipo de electrolizador desarrollado dentro del proyecto de la Fundación Domingo Martínez y asegura la financiación futura para seguir investigando y trabajando en la tecnología propuesta.

Además, se ha patentado parte de la tecnología desarrollada en el proyecto. La patente internacional Patente EP21383006.0, “Porous Ionomer free layered metal alloy electrocatalyst electrode”, presentada en Nov. 2021 ha sido licenciada por la empresa H2B2, lo que muestra el extraordinario interés de los resultados obtenidos.

E) PRODUCCIÓN CIENTÍFICA (Artículos científicos y Tesis Doctorales).

La difusión de resultados asociados a los avances científico-técnicos del proyecto se ha realizado a lo largo de todo el periodo de vigencia del mismo. El objetivo de estas publicaciones es poner a disposición de toda la comunidad científica internacional los resultados alcanzados en el proyecto. Esta tarea incluye la redacción y publicación de artículos científicos, así como la presentación de los principales resultados obtenidos en

congresos especializados. Todas estas publicaciones incluyen agradecimiento explícito a la Fundación Domingo Martínez como financiadora de esta investigación.

a) Publicaciones en revistas indexadas directamente relacionadas con los resultados del proyecto.

- [1] E. López-Fernández, J. Gil-Rostra, J. P. Espinós, A. R. Gonzalez-Elipe, A. de Lucas Consuegra, F. Yubero. *Chemistry and Electrocatalytic Activity of Nanostructured Nickel Electrodes for Water Electrolysis*, ACS Catal., Vol. 10 (2020) p. 6159-6170.
- [2] E. López-Fernández, J. Gil-Rostra, C. Escudero, I.J. Villar-García, F. Yubero, A. de Lucas Consuegra, A.R. González-Elipe, *Active sites and optimization of mixed copper-cobalt oxide anodes for anion exchange membrane water electrolysis*, J. Power Sources. Vol 485 (2021), p. 229217.
- [3] E. López-Fernández, C. G. Sacedón, J. Gil-Rostra, J. P. Espinós, A.R. González-Elipe, F. Yubero, A. de Lucas-Consuegra, *Ionomer-Free Nickel-Iron electrodes prepared by Magnetron Sputtering for extremely efficient alkaline exchange membrane water electrolysis*. Chem. Eng. J., Vol 433 (2022), 133774.
- [4] C. G. Sacedón , E. López-Fernández, A.R. de la Osa, F. Dorado, E. Amores, A. de Lucas-Consuegra, *Preliminary Design of a Self-Sufficient Electrical Storage System Based on Electrolytic Hydrogen for Power Supply in a Residential Application*. Appl. Sci. Vol 11 (2021), 9582.
- [5] E. López-Fernández, C. G. Sacedón, J. Gil-Rostra, F. Yubero, A. R. González-Elipe, A. de Lucas-Consuegra. *Recent Advances in Alkaline Exchange Membrane Water Electrolysis and Electrode Manufacturing*. Molecules Vol 26 (2021), 6326.
- [6] E. López-Fernández, C. G. Sacedón, J. Gil-Rostra, J. P. Espinós, A.R. González-Elipe, F. Yubero, A. de Lucas-Consuegra, *Nanostructured nickel based electrocatalysts for*



hybrid ethanol-water anion exchange membrane electrolysis. Journal of Environmental Chemical Engineering Vol 10 (2022) 107994.

[7] E. López-Fernández, C. G. Sacedón, J. Gil-Rostra, J. P. Espinós, J. Javier Brey, A.R. González-Elipe, F. Yubero, A. de Lucas-Consuegra, *Optimization of anion exchange membrane water electrolyzers using ionomer-free electrodes*. Renewable Energy Vol 197 (2022) 1183-1191.

[8] C. G. Sacedón, E. López-Fernández, J. Gil-Rostra, J. P. Espinós, A.R. González-Elipe, F. Yubero, A. de Lucas-Consuegra. *Non-noble metals nanostructured electrodes for energy-saving hydrogen production from Alkaline Water via Urea Electrocatalysis*. En preparación.

Estas ocho publicaciones incluyen en el apartado de agradecimientos la mención a la financiación recibida por la Fundación Domingo Martínez en el marco de este proyecto.

b) Tesis doctorales relacionadas con el proyecto.

Nombre: Ester López Fernández

Director: Antonio de Lucas Consuegra, Francisco Yubero Valencia

Título: Desarrollo de electrodos nanoestructurados para electrolizadores basados en membranas de intercambio aniónico.

Fecha defensa: 21 de enero de 2022

Calificación: Sobresaliente Cum laude (mención internacional)

F) REUNIONES CON EL COMITÉ Y PUBLICACIONES EN PERIÓDICOS

-La reunión de comienzo de proyecto y puesta en marcha del mismo fue difundida a través de diversos periódicos digitales de la región y publicaciones en la página web del Departamento de Ingeniería Química.

-Tras la reunión con el comité de la Fundación mantenida en Ciudad Real el 28 de Septiembre de 2022, se prepararon y enviaron a medios locales notas de prensa.



Fotos tomadas durante algunas reuniones de seguimiento con el comité de la Fundación