

PLAN DE INVESTIGACIÓN (PI)

Título:

Modelización y reformulación de baterías para dispositivos de iluminación de emergencia

Doctorando

Nombre:

Jesús Inocente Medina Santos

e-mail:

jesusmedinasantos.iq@gmail.com

Director

Nombre:

Jesús Palma del Val

Institución:

IMDEA Energía

Co-Director

Nombre:

Enrique García-Quismondo Hernáiz

Institución:

IMDEA Energía

Tutor

Nombre:

Pilar Ocón Esteban

Fecha de Matrícula:

11/2020

Fecha:

01/11/2020

Tesis en cotutela: ☐ SI ☒ NO

Universidad:

Doctorado Industrial:

☒ SI ☐ NO

Empresa en que el doctorado está contratado:

Electrozemper S.A.

1 Este documento deberá tener una extensión orientativa de entre cinco y diez páginas, anexos aparte. No será necesaria la cumplimentación de los subapartados 3.1 y 3.2 en aquellos programas en los que las comisiones académicas así lo establezcan.

Actualizado: 20/08/2019

1. Antecedentes y estado actual del tema

Las baterías recargables de ion – Litio se han consolidado como una gran solución técnica para el almacenamiento de energía en dispositivos médicos, industriales y de consumo [1]. Esto es debido a su capacidad para almacenar una gran cantidad de energía en el menor volumen y peso, y a sus buenas prestaciones en ciclabilidad, lo cual ha facilitado que esté siendo una de las tecnologías consideradas para facilitar la integración de las energías renovables en las redes eléctricas y para la propulsión de la nueva generación de vehículos eléctricos [2,3]. Al mismo tiempo están encontrando sitio en aplicaciones que demandan funciones menos conocidas, como son, por ejemplo, en la propulsión de vehículos como embarcaciones, drones y aeronaves ligeras, los sensores y dispositivos inalámbricos de transmisión de señales para la implementación del Internet de las cosas que, en general, requieren disponibilidad total 24 horas al día y 7 días por semana, como la iluminación de emergencia que es el ámbito de aplicación de este trabajo de investigación.

Los dispositivos de iluminación de emergencia requieren de sistemas de almacenamiento de energía para gestionar su encendido cuando hay una pérdida de suministro eléctrico inesperada, por eso las baterías que los alimentan permanecen la mayor parte del tiempo en condiciones de máximo estado de carga y muy inusualmente demandan cierta capacidad de energía en descarga durante tiempos de evacuación típicos de entre 1 y 3 horas. Estos dispositivos, fruto de las particulares localizaciones de iluminación y de la variedad de instalaciones, suelen estar ubicados en lugares inusuales, como zonas subterráneas o exteriores, a veces de difícil acceso, expuestos por tanto a condiciones ambientales extremas lo cual condiciona la duración típica de las baterías. Los requerimientos típicos de las luminarias de emergencia son la fiabilidad en el suministro de luz cuando es requerido, el mínimo mantenimiento y, dependiendo de la gama de producto, los bajos costos de fabricación. Todo esto sometido a condiciones variadas de temperatura. Las baterías de ion - Litio en principio son buenos candidatos a cumplir con estos requisitos [1,4].

En la actualidad las baterías de ion – Litio han alcanzado un desarrollo tecnológico que les permite llegar a altas densidades de energía (~ 150 Wh/Kg gravimétrica y ~ 400 Wh/L volumétrica) manteniendo sus prestaciones durante más de 1000 ciclos de carga y descarga profunda, valores muy superiores a otras baterías recargables tradicionales como las de Plomo/Acido, Níquel/Cadmio y Níquel/Hidruro metálico [5]. Además, presentan buenas prestaciones de potencia ofreciendo tiempos de respuesta rápidos, con eficiencia por ciclo de carga-descarga superiores al 90% en condiciones de alta demanda de energía [6]. Sin embargo, a diferencia de las anteriores tecnologías, las baterías de ion - litio son potencialmente explosivas si se operan incorrectamente mediante, por ejemplo, sobrecargas o sobredescargas, por lo que suelen llevar acoplados circuitos electrónicos que, obviamente, encarecen el producto y además consumen carga de la batería incluso cuando el dispositivo no está en uso. Por otro lado, aun siendo operativas en una amplia gama de temperaturas generalmente no admiten bien los cambios bruscos de temperatura. Esto hace que estas baterías, en su estado de desarrollo actual, presenten prestaciones limitadas para aplicaciones de iluminación de emergencia, en las que las baterías están la mayor parte del tiempo en reposo en estado cargado y expuestas a cambios drásticos de temperatura.

El reto principal de la investigación que se propone es mejorar las prestaciones de las baterías de ion – Litio en un amplio rango de temperaturas de operación (de -40°C a 65°C), en densidad de energía, en coste y en duración, pero no en términos de ciclos de vida como se hace habitualmente sino en lo que se refiere a su comportamiento combinando reposo con permanecer en alto estado de carga. Para hacer frente a este reto será necesario afrontar encarar algunos retos de forma complementaria, por ejemplo, un aspecto importante de la investigación tiene que ver con el desarrollo de metodologías de ensayos acelerados que permitan discernir la viabilidad de las baterías para su uso industrial sin necesidad de emplear años de pruebas. También conlleva investigar nuevas técnicas de medida instantánea del estado de salud de las baterías que sean viables de fabricar en la industria de la electrónica para ser instaladas en las luminarias para prevenir el fin de la vida de las baterías y planificar las actividades de revisión y reemplazo.

La presente tesis doctoral pretende por tanto abordar la modificación de los componentes de las baterías de ion – Litio comerciales a fin de obtener una batería con prestaciones, fiabilidad y durabilidad adecuadas para poder instalarse en luminarias de emergencia dando servicio en condiciones ambientales extremas y extendiendo su vida para minimizar la frecuencia de su sustitución y el coste asociado. Además, para alcanzar los objetivos se pretenden desarrollar metodologías de ensayos acelerados específicos para esta aplicación que permitan estimar en poco tiempo el envejecimiento de la batería y hacer proyecciones de su vida útil en escala de años. La última innovación propuesta en esta investigación es implementar medidas de evaluación y diagnóstico en la electrónica de las luminarias, de tal forma que se optimice la gestión del reemplazo de baterías, ahorrando costes de sustitución.

1.1. Experiencia previa del Grupo de Investigación

La Unidad de Procesos Electroquímicos se creó en abril de 2008, desde entonces, sus investigadores han estado trabajando en el ámbito del desarrollo de tecnologías electroquímicas para almacenamiento de energía. Específicamente se han especializado en el estudio de metodologías de caracterización de baterías para aplicaciones emergentes y optimización de los modos de ensayo, con varios proyectos que avalan su experiencia. A continuación, se detallan los proyectos más relevantes relacionados con el tema de tesis propuesto:

- Study of the on Lithium – Ion Batteries Fast Recharge. Contrato Privado. Instituto IMDEA Energía, Repsol,
- Next Generation Battery Testing Equipment, Contrato Privado. Instituto IMDEA Energía, IMV Corporation,
- Testing of Primary Batteries for Wireless Devices TEBAWI. Contrato Privado. Instituto IMDEA Energía; Securitas Direct España.

La Unidad de Procesos Electroquímicos del Instituto IMDEA Energía ha llevado a cabo una intensa labor investigadora en el diagnóstico del envejecimiento de las baterías bajo perfiles de ensayo avanzado. Inicialmente, la actividad de investigación se centró en el estudio fundamental de los mecanismos de envejecimiento de electrodos, lo cual permitió la generación del conocimiento sobre los fenómenos de degradación que dictan el funcionamiento de las baterías, centrándose luego en el desarrollo de medidas avanzadas, en la evaluación predictiva y en la modelización, lo cual ha permitido llevar a cabo actividades de transferencia de conocimiento al tejido industrial.

En los últimos años, se han iniciado nuevas líneas de investigación que incluyen la estimación de la vida de baterías en aplicaciones emergentes. Este proyecto en particular ampliará el know-how del grupo en el campo de las baterías para luminarias de emergencia, y abordará la mejora de la formulación de electrolito para asegurar mayor duración en campo.

2. Objetivos y planteamiento

El objetivo principal de la tesis es mejorar las prestaciones de las baterías de ion – Litio aplicadas a dispositivos de iluminación de emergencia, en una amplia gama de temperaturas de operación. Estas baterías deben adaptarse a las características eléctricas de operación y a las condiciones climáticas típicas de las localizaciones de las luminarias, que serán definidas a partir de la experiencia de ELECTROZEMPER, socio industrial en esta tesis. Para alcanzar este objetivo general se establecen los siguientes objetivos específicos:

- **Desarrollo de métodos de ensayos acelerados.** Para alcanzar este objetivo se explorarán metodologías de ensayos que permitan estudiar la degradación de baterías de ion - Litio en condiciones representativas de su utilización en dispositivos de iluminación de emergencia, pero sin necesidad de prolongar la experimentación durante todo el periodo de vida útil de estas baterías, que suele ser de varios años.
- **Investigar composiciones y formulaciones para los principales elementos de la batería.** Este objetivo requiere un análisis comparativo de la combinación de distintos tipos de materiales de electrodo con diferentes formulaciones de electrolitos para la fabricación de baterías de ion – Litio modificadas para promover propiedades específicas.
- **Adaptación de celdas comerciales.** Para alcanzar este objetivo se seleccionarán los mejores materiales estudiados en el anterior objetivo y se modificarán celdas comerciales, idealmente en formato cilíndrico.
- **Evaluación de la integración en luminarias de emergencia.** Para alcanzar este objetivo se llevará a cabo la estimación del funcionamiento de la batería más adecuada obtenida a partir de las prestaciones y duración medidas en el objetivo anterior, para diferentes tipos de dispositivos dentro de la gama comercial del socio industrial en esta tesis, ELECTROZEMPER, y haciendo una evaluación técnico-económica comparada con el coste y duración de los dispositivos actuales.

3. Metodología y plan de trabajo

La hipótesis de partida es que, ya sea utilizando aditivos en el electrolito o bien adaptando los modos de operación eléctricos de los dispositivos, es posible prolongar la vida de las baterías, de forma que puedan asegurarse periodos de garantía en condiciones particulares manteniendo asimismo un buen equilibrio entre las prestaciones de las baterías y sus costes de fabricación.

El plan de trabajo incluye los siguientes pasos:

1. **Desarrollo de métodos de ensayo acelerados.** Para elaborar la metodología de testeo, se evaluarán las prestaciones eléctricas de diferentes baterías de ion-litio y se realizarán medidas complementarias (voltaje en reposo, resistencia interna, impedancia, etc...) con el fin de determinar el estado inicial de las mismas. Posteriormente, se diseñarán los ensayos de envejecimiento acelerado en función del perfil de funcionamiento de los dispositivos de ELECTROZEMPER caracterizados por una carga flotante. A partir de este perfil, se propondrán como punto de partida algoritmos basados en las variaciones de amplitud y frecuencia. Además, se propondrán rangos de temperatura altos con el propósito de acelerar las reacciones de degradación de las baterías. La eficacia del método de ensayos se contrastará con medidas de control periódico como ciclos de carga y descarga, medidas de impedancias y análisis de dQ/dV que permitan conocer el estado de salud y los mecanismos de envejecimiento de la batería a lo largo de su ciclo de vida.
2. **Investigar composiciones y formulaciones para los principales elementos de la batería.** Una vez que se hayan establecido los principales mecanismos de envejecimiento de las baterías se estudiarán diferentes formulaciones de electrolitos que incluyan la adición de componentes que alarguen la vida de las baterías en las condiciones de operación estudiadas. Para ello se fabricarán baterías a nivel de celda pequeña con equipamiento específico para baterías de ion – litio y se realizarán ensayos que permitan conocer las prestaciones de las baterías a diferentes temperaturas, densidades de corriente y estados de carga. Se compararán con las baterías comerciales, por un lado, en cuanto a las prestaciones descritas por los fabricantes de baterías y, por otro lado, con los métodos avanzados desarrollados en las actividades anteriores.
3. **Adaptación de celdas comerciales.** Con los resultados de las pruebas a nivel de celda de laboratorio se llevará a cabo la modificación de celdas comerciales, con particular atención en aspectos como la homogenización del electrolito y la ayuda de distintos componentes comerciales (electrodos, separador, etc.), se investigarán diferentes combinaciones de electrodos positivos y negativos que permitan construir baterías con electrolitos basados en componentes orgánicos, que permitan voltajes altos y densidades de energía elevadas, y componentes acuosos, que proporcionan menor voltaje y densidad de energía, pero mayor durabilidad. Estos ensayos se llevarán a cabo a temperatura controlada en cámara climática y con bancos de testeo que registran y realizan mediciones de forma automática.
4. **Evaluación de la integración en luminarias de emergencia.** Finalmente se evaluará el funcionamiento de la batería más adecuada obtenida a partir de las prestaciones y duración medidas en los pasos anteriores. Se llevará a cabo una evaluación técnico-económica comparada con el coste y duración de los dispositivos actuales de las baterías desarrolladas, incluyendo la valoración económica de la batería para cada aplicación/dispositivo, su mercado potencial y el modelo de explotación que se propone.

El cronograma propuesto para la ejecución de la tesis es el siguiente:

Objetivos		Años											
Nº	Descripción	Año 1				Año 2				Año 3			
A1	Desarrollo de métodos de ensayos acelerados												
A2	Investigar composiciones y formulaciones para los principales elementos de la batería												
A3	Adaptación de celdas comerciales												
A4	Evaluación de la integración en luminarias de emergencia												

3.1. Impacto previsto

El sector de la iluminación de emergencia impone unos requisitos a las baterías que son muy distintos de las aplicaciones convencionales (automóvil, teléfonos, fotovoltaica...) y carece de la experiencia previa que tienen las anteriores. Además, aunque la luminaria ha incorporado desarrollos tecnológicos como los LED o la microelectrónica, la tecnología de la batería ha sufrido pocos avances y se ha limitado a utilizar baterías desarrolladas para otros sectores, que no son las adecuadas para esta aplicación.

En el marco de esta tesis doctoral se espera tener un impacto científico mediante el desarrollo de modelos de degradación de las baterías, ya que hay una fuerte demanda de modelos que permitan entender mejor los procesos de degradación y actuar sobre ellos para ralentizarlos. Al mismo tiempo, el desarrollo de modelos de degradación permitirá a los fabricantes de luminarias disponer de métodos para comparar distintos tipos y fabricantes de baterías para adquirir la batería que mejor se adapte a los dispositivos.

Por otro lado, se espera tener un impacto tecnológico debido al desarrollo de baterías diseñadas a medida para esta aplicación, permitiendo ampliar su vida útil y extender el periodo de garantía de los productos, que es uno de los factores más importantes en este sector. Debido a la experiencia científica y sobre todo industrial de los directores de tesis tanto en las metodologías de ensayos de baterías como en la formulación de electrolitos se espera que estos desarrollos permitan llevar a cabo varias contribuciones científicas a revistas indexadas y elaborar una solicitud de patente.

La mejora del producto final tendrá un impacto social, ya que las mejoras en las prestaciones, fiabilidad y duración de las baterías conlleva un aumento de la seguridad proporcionada por estos dispositivos en situaciones de emergencia incluso en condiciones ambientales extremas.

Finalmente, se estima que estos avances tengan un impacto significativo en los costes de mantenimiento y sustitución de baterías dentro de un sector en el que las empresas españolas facturan más de 1.300 millones anuales.

3.2. Plan de financiación y movilidad

Esta tesis recibe el apoyo económico del programa de ayudas de doctorados industriales 2019 de la Comunidad de Madrid (Ref: IND2019/AMB-17189), que incluye parte del salario del doctorando, el abono del coste de la matrícula del doctorando, la adquisición de equipamiento o material inventariable, la adquisición de material fungible y gastos relacionados con viajes y dietas del doctorando. Para recibir esta ayuda, el sistema de evaluación del programa de ayudas de doctorados industriales de la Comunidad de Madrid tuvo en cuenta la experiencia previa de los directores de tesis y del grupo de investigación en el área de estudios de baterías de ion – Litio y específicamente en la caracterización de baterías para estimación de su tiempo de vida.

Dentro del programa de doctorado se contempla la opción de realizar estancias en centros industriales de interés para la empresa ELECTROZEMPER y/o en centro de I+D punteros en el área de la tesis. Específicamente se espera poder realizar estancias periódicas de duración semanal en las instalaciones que la Empresa ELECTROZEMPER tiene en Ciudad Real (Castilla La Mancha) para la validación de las metodologías de ensayos con baterías industriales, especialmente durante el último año de la tesis.

4. Bibliografía inicial

Incluir la referencia completa de la documentación o material que se tomará como punto de partida.

- [1] M.S. Whittingham, R.F. Savinell, T. Zawodzinski, Introduction: batteries and fuel cells., Chem. Rev. 104 (2004) 4243–4. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15669154>.
- [2] C.A. Hill, Grid-scale battery energy storage systems, (2013). <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/22728>.
- [3] S. Manzetti, F. Mariasiu, Electric vehicle battery technologies, Renew. Sustain. Energy Rev. 51 (2015) 1004–1012.
- [4] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke, Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation, Appl. Energy. 137 (2015) 511–536. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>.



Firma Doctorando


Enviado

Vº Bº Director



Vº Bº Tutor

ANEXO I : *Curriculum vitae del director o directores de la tesis*

Adjuntar en documento aparte un *CV abreviado* del director o directores, preferentemente en el formato utilizado por el MINECO, indicando únicamente méritos de investigación y transferencia, referidos solo a los últimos 6 años.



Parte A. DATOS PERSONALES

Fecha del CVA

01/02/2021

Nombre y apellidos	Jesús Palma del Val		
DNI/NIE/pasaporte	02855892M	Edad	57
Núm. identificación del investigador	Researcher ID	G-6914-2015	
	Author ID	35791418500	
	Código ORCID	0000-0003-1022-0165	

A.1. Situación profesional actual

Organismo	Fundación IMDEA Energía		
Dpto./Centro	Unidad de Procesos Electroquímicos		
Dirección	Avda. Ramón de la Sagra 3, 28935 Móstoles, Madrid		
Teléfono	917371116	Correo electrónico	jesus.palma@imdea.org
Categoría profesional	Investigador Senior	Fecha inicio	11/04/2008
Código UNESCO	330309; 330418		
Palabras clave	Electrochemistry; Environment; Energy Storage; Energy Efficiency		

A.2. Formación académica (título, institución, fecha)

Licenciatura/Grado/Doctorado	Universidad	Año
Executive MBA	IE Business School	2001
Doctor en Química	Universidad Autónoma de Madrid / CSIC	1994
Licenciado en CC. Químicas	Universidad Autónoma de Madrid	1986

A.3. Indicadores generales de calidad de la producción científica (últimos 6 años)

	<u>Ref. WoS</u>	<u>Ref. Scopus</u>
Documentos publicados con FI =	46	47
Documentos en revistas D1 =	34 (74%)	35 (74%)
Documentos en revistas Q1 =	41 (89%)	42 (89%)
Factor de impacto promedio =	7.842	8.30
Citas totales =	1920	2009
Citas por año =	320	335
Índice H =	24	25
Tesis dirigidas = 4 defendidas + 4 en curso		
Trabajos de fin de Master / Grado supervisados = 12		
Investigadores postdoctorales supervisados = 6		

Parte B. RESUMEN LIBRE DEL CURRÍCULUM (máximo 3500 caracteres, incluyendo espacios en blanco)

Entre 1988 y 1991 realizó su tesis doctoral en el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC. Desde 1991 hasta 2008 trabajó en el Centro de I+D de Técnicas Reunidas S.A., donde comenzó como Ingeniero de Procesos, luego fue promovido a Director de Proyectos y finalmente a Director del Centro de I+D. En 2008 se incorporó a la Fundación IMDEA Energía para poner en marcha la Unidad de Procesos Electroquímicos dedicada a la investigación en tecnologías electroquímicas para almacenamiento de energía y para aplicaciones medioambientales. Desde entonces, la Unidad ha crecido desde 2 hasta 25 personas; ha conseguido más de 70 proyectos de investigación por valor de más de 10 millones de Euros; ha publicado más de 160 artículos científicos en revistas indexadas en el JCR (84% en el primer cuartil); ha generado 9 patentes; y supervisado 8 tesis doctorales. Los investigadores de la Unidad han recibido 1 contrato ERC-Consolidator, 6 becas Marie Curie, 3 contratos Ramón y Cajal, 2 becas Juan de la Cierva, 4 becas de atracción de talento de la Comunidad de Madrid y 2 becas de la Fundación Iberdrola. A lo largo de su carrera ha participado en más de 65 proyectos de investigación nacionales e internacionales, siendo investigador principal en unos 45. Ha participado en 14 proyectos

Europeos, actuando en 8 de ellos como responsable de la organización participante. Se ha especializado en investigación aplicada, escalado de dispositivos y procesos desde el laboratorio a planta piloto. Tiene experiencia en la elaboración de patentes y negociación de acuerdos de licencia. Sus intereses actuales incluyen *Condensadores electroquímicos; Desionización electroquímica; Baterías de flujo; Baterías de ion-Litio; Otras baterías primarias y secundarias (Al-ion, Zn-Mn y Zn-aire); y Ensayos, modelizado y predicción de la vida útil de baterías.*

Parte C. MÉRITOS MÁS RELEVANTES (ordenados por tipología)

C.1. Publicaciones (selección)

1. Antonio Molina, Nagaraj Patil, Edgar Ventosa, Marta Liras, Jesús Palma, and Rebeca Marcilla. "Electrode Engineering of Redox-Active Conjugated Microporous Polymers for Ultra-High Areal Capacity Organic Batteries". *ACS Energy Letters*, **2020**, 5, 2945–2953. DOI: 10.1021/acsenenergylett.0c01577. Impact factor: 19.003 – D1(2019)
2. Antonio Molina, Nagaraj Patil, Edgar Ventosa, Marta Liras, Jesus Palma, and Rebeca Marcilla. "New Anthraquinone-based Conjugated Microporous Polymer Cathode with Ultrahigh Specific Surface Area for High-Performance Lithium-ion Batteries". *Advanced Functional Materials*, **2020**, 30, 6, 1908074. DOI: 10.1002/adfm.201908074. IF: 16.836 – D1(2019)
3. Wang, Y., Vázquez-Rodríguez, I., Santos, C., García-Quismondo, E., J., Palma, J., Anderson, M.A and Lado, J. J.*. "Graphite Felt 3D Framework Composites as an Easy to Scale Capacitive Deionization Electrode for Brackish Water Desalination". *Chem. Eng. Journal*, **2020**, 123698. DOI: 10.1016/j.cej.2019.123698. IF: 10.652 – D1(2019)
4. Sanchez, J; Pendashteh, A; Palma, J.; Marcilla, R. "Insights into Charge Storage and Electroactivation of Mixed Metal Sulfides in Alkaline Media: NiCoMn Ternary Metal Sulfide Nano-needles Forming Core-Shell Structures for Hybrid Energy Storage". *Journal of Materials Chemistry A*, **2019**, 7, 20414-20424. DOI: 10.1039/C9TA04322E. IF: 11.301 – D1(2019)
5. Navalpotro, P., Neves, C.M.S.S., Palma, J., Freire, M.G., Coutinho, J.A.P., Marcilla, R. "Pioneering Use of Ionic Liquid-Based Aqueous Biphasic Systems as Membrane-Free Batteries". *Advanced Science*, **2018**, 1800576. DOI: 10.1002/advs.201800576. IF: 12.441 – D1(2018)
6. Navalpotro, P., Palma, J., Anderson, M., Marcilla, R. "A Membrane-Free Redox Flow Battery with Two Immiscible Redox Electrolytes". *Angewandte Chemie - International Edition*, **2017**, 56, 12460-12465. DOI: 10.1002/anie.201704318. IF: 12.102 – D1(2017)
7. García-Quismondo, E., Santos, C., Soria, J., Palma, J., Anderson, M.A. "New Operational Modes to Increase Energy Efficiency in Capacitive Deionization Systems". *Environmental Science and Technology*, **2016**, 50, 6053-6060. DOI: 10.1021/acs.est.5b05379. IF: 6.198 – Q1(2016)

C.2. Proyectos (selección)

1. Title/Acronym: A Hybrid Reactor for Solar CO₂ and N₂ Conversion Coupled to WasteWater Treatment / HYSOLCHEM. Partners: IMDEA Energía (Coord.), Universidad Rey Juan Carlos, Catholieke Universiteit Leuven, Innova Srl, Amer-Sil SA, Diamond Light Source Limited, Apria Systems SL. Funding Institution/Program: H2020-FETPROACT-EIC-07-2020. Period: 2021-2023. IMDEA Energy external funding: 324.380 €. Role: PI
2. Title/Acronym: Multi-Electron Processes for Light Driven Electrodes and Electrolytes in Conversion and Storage of Solar Energy / LIGHT-CAP. Partners: Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Technische Universitaet Dresden, Justus-Liebig-Universitaet Giessen, Politecnico di Milano, IMDEA

- Energía. Funding Institution/Program: H2020-FETPROACT-EIC-07-2020. Period: 2021-2023. IMDEA Energy external funding: 402.190 €. Role: Participant
3. Title/Acronym: GHz nanoscale electrical and dielectric measurements of the solid-electrolyte interphase and applications in the battery manufacturing line /NANOBAT. Partners: Keysight Technologies (Coordinador); Austrian Institute of Technology; Centro Ricerche Fiat; EURICE – European Research and Project Office; Federal Institute of Metrology METAS; IMDEA Energy; Johannes Kepler University Linz; Kreisel Electric GmbH & Co KG; Pleione Energy; QWED; Ruhr-Universität Bochum; Technische Universität Braunschweig. Funding Institution/Program: H2020-DT-NMBP-08-2019, Grant agreement No.861962. Period: 2020-2023. IMDEA Energy external funding: 190.000 €. Role: PI
 4. Title/Acronym: Hybridization of geothermal energy and flow batteries for heating and cooling of zero-energy tertiary buildings/ GEOBATT. Partners: SACYR (Coordinator); Energy Storage Systems; Polytechnic University of Madrid; Carlos III University of Madrid; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Science, Innovation and Universities/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2017. Period: 2018-2021. IMDEA Energy external funding: 255.476 €. Role: PI
 5. Title/Acronym: Capacitive Deionization of Brines Coming from Brackish Water Reverse Osmosis Plants/ DC-SÓIAS. Partners: GS-INIMA (Coordinator); PROINGESA; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Economy and Competitiveness/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2015. Period: 2015-2018. IMDEA Energy external funding: 162.480 €. Role: PI
 6. Title/Acronym: Innovative Storage for Stationary Applications Based on Aluminum/ ALIENA. Partners: Albufera Energy Storage (Coordinator); ALEASTUR; GFM; ITMA; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Economy and Competitiveness/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2015. Period: 2015-2018. IMDEA Energy external funding: 128.538 €. Role: PI
 7. Title/Acronym: Fundamental properties and application of graphene and other 2D materials/ MAD2D. Partners: ICMM-CSIC (Coordinator); IMDEA Energy; IMDEA Nanoscience; IMDEA Materials; Autonoma University of Madrid. Period: 2014-2018. Funding Institution/Program: Comunidad de Madrid/ Program of R&D activities between research groups in Technology. IMDEA Energy external funding: 140.373 €. Role: PI

C.3. Contratos, méritos tecnológicos o de transferencia (selección)

1. Title/Acronym: Investigación de nuevos electrolitos orgánicos con hidroxí-derivados de fenacina / Hidroxí-FEBAT. Company: Bachman Aceleradora AIE (Spain). Period: 2020.
2. Title/Acronym: Testing of batteries for wireless surveillance devices/ BAMOWI. Company: Securitas Direct (Spain). Period: 2019-2021.
3. Title/Acronym: Development of an organic flow battery based on redox pairs for electric vehicles and stationary storage/ BAFO. Company: E22 and REPSOL. Period: 2016-2019.
4. Title/Acronym: Research in electrochemical energy storage technologies/ITAE Company: Inversiones Financieras Perseo (Spain). Period: 2016-2017
5. Title/Acronym: Energy storage with flow batteries in photovoltaic plants Company: Ingenia Solar Energy (Spain). Period: 2015-2017.
6. Title/Acronym: Development of cathode materials for primary zinc air batteries Company: CEGASA Portable Energy (Spain). Period: 2015-2016
7. Title/Acronym: Development of new structural materials for energy harvesting and storage/DESMAN. BE Aerospace (Germany). Period: 2014-2017

C.4. Patentes

1. Application number: EP20382772.0, Title: "Recyclable Electrode". Date of application: 31/08/2020. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Lado, J.; Ventosa, E.; Pérez, D.; García-Quismondo, E.; Palma, J.

Part A. PERSONAL INFORMATION

CV date

04/02/2021

First and Family name	Enrique García – Quismondo Hernáiz		
Social Security, Passport, ID number	50864552-Y	Age	41
Researcher numbers	Researcher ID	15060932400	
	Orcid code	0000-0002-7939-9573	

A.1. Current position

Name of University/Institution	IMDEA Energy		
Department	Electrochemical Processes Unit		
Address and Country	Ave. Ramón de la Sagra 3 Mostoles Technology Park E28935 – Mostoles (Madrid) SPAIN		
Phone number	91 737 1132	E-mail: enrique.garcia@imdea.org	
Current position	Senior Assistant Researcher	From	13/02/2018
Espec. cód. UNESCO	330309/330418		
Palabras clave	Electrochemistry, Electrochemical engineering, energy storage, energy conversion		

A.2. Education

PhD	University	Year
Degree in Chemistry	Autonomous University of Madrid (Spain)	2002
PhD in Chemistry	Autonomous University of Madrid (Spain)	2010

A.3. JCR articles, h Index, thesis supervised...

Number of periods of 6 years on research work: Not valid

Number of doctoral theses supervised in the last 10 years: 2

Total citations: 134 (WoS) without auto citations

Average of citations per year in the last 6 years (2014-2020) (not including the current year): 23.3 (WoS)

Total number of publications in the last 6 years: 10 (JCR indexed)

Publications in the first quartile in the last 6 years: 9 (JCR indexed)

h-index: 8 (WoS)

Part B. CV SUMMARY (max. 3500 characters, including spaces)

Enrique García – Quismondo is Senior Assistant Researcher at Imdea Energy, with a Ph.D. in Chemistry by Autonomía University of Madrid, his career has been developed in private companies working in the R&D Centre of the battery manufacturer Exide Technologies – Tudor (2003-2005) and in the R&D Laboratory of the engineering firm Técnicas Reunidas (2006-2011) building up an extensive experience in managing electrochemical engineering projects for the development of energy storage systems.

In 2012 he joined the Electrochemical Processes Unit in Imdea Energy, during these years he has specialized in industry-driven research using new concepts generated in the laboratory for the development of advanced technologies and its transference to companies, having participated in more than 15 projects in the last 5 years. His experience with electrochemical devices development extends to cell, stack and system design, as well as construction and testing of emerging technologies, with special emphasis on energy storage systems such as advanced lead-acid batteries, lithium – ion batteries, redox flow batteries (aqueous and organic), metal – air batteries (zinc and aluminum) and on energy efficient water desalination processes as capacitive deionization.



2. Application number: EP20382311.7 "Redox Flow Battery" Date of application: 17/05/2020. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: I. Montes, R. Marcilla, J. Palma, E. Ventosa, M. Vera, M. Sánchez Sanz.
3. Application number: EP19382473, Title: "An Alkaline Flow Battery Assembly". Date of application: 09/06/2019. Holders: Energy Storage Solutions, S.L. Inventors: Ventosa, E.; Perez, D.; García, G.; Palma, J.
4. Application number: EP18382971, Title: "Redox flow battery for energy storage". Date of application: 21/12/2018. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Ventosa, E.; Paez, T.; Palma, J.
5. Application number: P201730828, Title: "Carbon Nanotube Fibers for Capacitive Deionization". Date of application: 22/06/2017. Holders: IMDEA Materials Foundation, IMDEA Energy Foundation. Inventors: Vilatela, J.J.; Cabana, L.; Santos, C.; Garcia-Quismondo, E.; Palma, J.
6. Application number: PCT/ES2018/070015, Title: "Multifunctional composite Material". Date of application: 10/01/2017. Holders: IMDEA Materials Foundation, IMDEA Energy Foundation. Inventors: Vilatela, J.J.; Senokos, E.; Marcilla, R.; Palma, J.
7. Application number: P201630327, Title: "Redox Battery with immiscible electrolytes". Date of application: 21/03/2016. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Navalpotro, P.; Anderson, M.A.; Palma, J.; Marcilla, R.
8. Application number: PCT/EP2015/071267, Title: "Composite Comprising CNT Fibres and an Ionic Conducting Compound as Part of an Energy Storage Device". Date of application: 16/09/2015. Holders: B/E AEROSPACE SYSTEMS GmbH, IMDEA Materials Foundation and IMDEA Energy Foundation. Inventors: Vilatela, J.J.; Marcilla, R.; Palma, J.; Senokos, E.; Degenhard, D.; Ashraf, S.

The fact that he has worked both in private industry and in research organizations has provided him with extensive experience in R&D project management and in technology transfer to the private sector. Proof of this are the most relevant projects in which he has participated, that are the industrial scale-up of All-vanadium Redox Flow Battery technology in collaboration with the company PVH Storage, the adaptation of Capacitive Deionization technology for the brackish solutions treatment in partnership with the companies GS Inima and Proingesa, and the development of Organic Flow Batteries for ultra-fast recharge of electric vehicles in collaboration with the company Repsol, having contributed to the improvement of the employability rate of these companies.

Over his career in academia, his work has led to several scientific publications with a total number of citations in the last six years of 134 and an h index of 8 (by the Web of Science), and he has made numerous contributions to international conferences. He has supervised two Ph.D theses, five master thesis and several undergraduate students' projects, and he has been collaborator in various courses organized by the CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) (2015-2019).

During his career he has also spent periods as researcher at the Universities Polytechnic of Valencia (Spain), Wisconsin - Madison (USA) and New South Wales (Australia) as well as at the research center of the company GNB Industrial Power Exide Technologies (Portugal).

He has been awarded with Research in Energy and Environment grants from Iberdrola Foundation in 2013 and 2016.

Part C. RELEVANT MERITS

C.1. Publications (including books)

- Lado, J.J., Cartolano, V., García-Quismondo, E., García, G., Almonacid, I., Senatore, V., Naddeo, V., Palma, J., Anderson, M.A. "Performance analysis of a capacitive deionization stack for brackish water desalination". *Desalination* 2021, 501, 114912. Free Access. Q1
- Wang, Y.; Vázquez-Rodríguez, I.; Santos, C.; García-Quismondo, E.; Palma, J.; Anderson, M.A.; Lado, J.J. "Graphite felt 3D framework composites as an easy to scale capacitive deionization electrode for brackish water desalination". *Chemical Engineering Journal*, 2020, 392, 123698 IF=10.652. Q1
- Santos, C.; García-Quismondo, E.; Palma, J.; Anderson, M.A.; Lado, J.J. "Understanding capacitive deionization performance by comparing its electrical response with an electrochemical supercapacitor: Strategies to boost round-trip efficiency" *Electrochimica Acta*, 2020, 330, 135216. IF=6.215. Q1
- García-Quismondo, E.; Almonacid, I.; Cabañero Martínez, M.A.; Miroslavov, V.; Serrano, E.; Palma, J.; Alonso Salmerón, J.P. "Operational experience of 5 kW/5 kWh all-vanadium flow batteries in photovoltaic grid applications" *Batteries*, 2019, 5(3), 52. IF=2.93. Q1
- Santos, C.; Lado, J.; García-Quismondo, E.; Vázquez, I.; Hospital, D.; Vilatela, J.J.; Palma, J.; Anderson, M.A. "Interconnected metal oxide CNT fibre hybrid networks for current collector-free asymmetric capacitive deionization" *Journal of Materials Chemistry A*. 2018, 6, 10898-10908. IF= 9.931. Q1
- Santos, C.; Lado, J.; García-Quismondo, E.; Soria, J.; Palma, J.; Anderson, M.A. Maximizing Volumetric Removal Capacity in Capacitive Deionization by Adjusting Electrode Thickness and Charging Mode. *Journal of the Electrochemical Society*. 2018, 135, 294-302. IF=3.662. Q1
- Muñoz, D.; Leung, P.; García-Quismondo, E.; Ventosa, E.; Anderson, M.A.; Palma, J.; Marcilla, R. "Investigation of Different Anode Materials for Aluminium Rechargeable Batteries". *Journal of Power Sources* 374 (2018) 77–83. IF=6.945. Q1
- García-Quismondo, E.; Santos, C.; Soria, J.; Palma, J.; Anderson, M.A. "New Operational Modes to Increase Energy Efficiency in Capacitive Deionization Systems". *Environmental Science & Technology*. 2016, 50 (11), pp 6053–606. IF=5.393. Q1

- Leung, P.; Palma, J.; García-Quismondo, E.; Sanz, L.; Mohamed, M.R.; Anderson, M.A. "Evaluation of Electrode Materials for All-Copper Hybrid Flow Batteries". Journal of Power Sources, 2016, 310, 1–11. IF=6.333. Q1
- García-Quismondo, E.; Santos, C.; Palma, J.; Anderson, M.A. "On the challenge of developing wastewater treatment processes: capacitive deionization". Desalination and Water Treatment, 2016, 57, 2315-2324. IF=1.272. Q2

C.2. Research projects and grants

Title/Acronym: GHz nanoscale electrical and dielectric measurements of the solid- electrolyte interphase and applications in the battery manufacturing line /NANOBAT. Partners: Keysight Technologies (Coordinador); Austrian Institute of Technology; Centro Ricerche Fiat; EURICE – European Research and Project Office; Federal Institute of Metrology METAS; IMDEA Energy; Johannes Kepler University Linz; Kreisel Electric GmbH & Co KG; Pleione Energy; QWED; Ruhr-Universität Bochum; Technische Universität Braunschweig. Funding Institution/Program: H2020-DT-NMBP-08-2019, Grant agreement No.861962. Period: 2020-2023. IMDEA Energy external funding: 190.000 €.

Title/Acronym: Hybridization of geothermal energy and flow batteries for heating and cooling of zero-energy tertiary buildings/ GEOBATT. Partners: SACYR (Coordinador); Energy Storage Systems; Polytechnic University of Madrid; Carlos III University of Madrid; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Science, Innovation and Universities/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2017. Period: 2018-2021. IMDEA Energy external funding: 255.476 €.

Title/Acronym: Capacitive Deionization of Brines Coming from Brackish Water Reverse Osmosis Plants/ DC-SÓIAS. Partners: GS-INIMA (Coordinador); PROINGESA; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Economy and Competitiveness/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2015. Period: 2015-2018. IMDEA Energy external funding: 162.480 €.

Title/Acronym: Innovative Storage for Stationary Applications Based on Aluminum/ ALIENA. Partners: Albufera Energy Storage (Coordinador); ALEASTUR; GFM; ITMA; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Economy and Competitiveness/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2015. Period: 2015-2018. IMDEA Energy external funding: 128.538 €.

Title/Acronym: Fundamental properties and application of graphene and other 2D materials/ MAD2D. Partners: ICMM-CSIC (Coordinador); IMDEA Energy; IMDEA Nanoscience; IMDEA Materials; Autònoma University of Madrid. Period: 2014-2018. Funding Institution/Program: Comunidad de Madrid/ Program of R&D activities between research groups in Technology. IMDEA Energy external funding: 140.373 €.

C.3. Contracts

Title/Acronym: Investigación de nuevos electrolitos orgánicos con hidroxi-derivados de fenacina / Hidroxi-FEBAT. Company: Bachman Aceleradora AIE (Spain). Period: 2020.

Title/Acronym: Testing of batteries for wireless surveillance devices/ BAMOWI. Company: Securitas Direct (Spain). Period: 2019-2021.

Title/Acronym: Development of an organic flow battery based on redox pairs for electric vehicles and stationary storage/ BAFO. Company: E22 and REPSOL. Period: 2016-2019.

Title/Acronym: Research in electrochemical energy storage technologies/ITAE Company: Inversiones Financieras Perseo (Spain). Period: 2016-2017

Title/Acronym: Energy storage with flow batteries in photovoltaic plants Company: Ingenia Solar Energy (Spain). Period: 2015-2017.

Title/Acronym: Development of cathode materials for primary zinc air batteries Company: CEGASA Portable Energy (Spain). Period: 2015-2016

C.4. Patents

Application number: EP20382772.0, Title: "Recyclable Electrode". Date of application: 31/08/2020. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Lado, J.; Ventosa, E.; Pérez, D.; García-Quismondo, E.; Palma, J.

Application number: P201730828, Title: "Carbon Nanotube Fibers for Capacitive Deionization". Date of application: 22/06/2017. Holders: IMDEA Materials Foundation, IMDEA Energy Foundation. Inventors: Vilatela, J.J.; Cabana, L.; Santos, C.; Garcia-Quismondo, E.; Palma, J.

C.5, C.6, C.7... (e. g., Institutional responsibilities, memberships of scientific societies...)

I am a Fellow of two professional societies: The Electrochemical Society and International Society of Electrochemistry

ANEXO II: Cuestionario sobre implicaciones éticas

Indicar si la propuesta del plan de investigación contempla alguno/s de los siguientes aspectos:

A: Investigación con seres humanos o uso de datos personales..... ☐ SI ☒ NO

B: La investigación implica contacto habitual con menores..... ☐ SI ☒ NO

C: Utilización de muestras biológicas humanas o información genética..... ☐ SI ☒ NO

D: Experimentación animal..... ☐ SI ☒ NO

E: Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o para las plantas ☐ SI ☒ NO

F: Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs)..... ☐ SI ☒ NO

En caso de haber contestado afirmativamente a uno o más ítems, y después de que el Plan de Investigación haya sido evaluado por la Comisión Académica del Programa de Doctorado, el doctorando debe enviar copia de este anexo (junto con la documentación requerida) al Comité de Ética de la Investigación (CEI) de la UAM a la dirección de correo electrónico:

comite.eticainvestigacion@uam.es

Si el trabajo se hace dentro de un Proyecto de Investigación más amplio que cuenta con la aprobación de un Comité de Ética de la Investigación (CEI), especificar:

- Título del proyecto:
- Investigador Principal:
- Fecha y código de aprobación por el CEI-UAM²:

Si el trabajo de investigación no se enmarca en un Proyecto ya aprobado, se ha de enviar, junto al presente Anexo, el Plan de Investigación, que debe incluir las actividades a realizar, y especificar la metodología y el material –en su caso– que se va a utilizar.

Aparte del Plan de Investigación con sus anexos, se adjuntará la siguiente documentación:

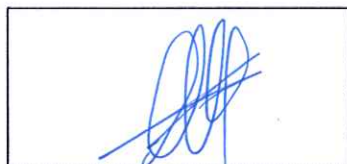
- En el supuesto A, si la investigación es prospectiva, se deberá aportar el documento de **consentimiento informado** que se utilizará, donde conste la información detallada que recibirá el participante en el estudio. Si la investigación es retrospectiva se deberá establecer un **compromiso de confidencialidad** sobre los posibles datos identificativos de los participantes. En cualquier caso, se detallará si los datos o el material obtenido serán **anonimizados o codificados** y cómo se custodiarán. También deberá indicarse el **modo de reclutamiento** de los participantes. Si se trata de experimentación clínica se debe adjuntar el informe del Comité de Ética del Centro en el que se llevará a cabo la experimentación, señalando la extensión de esta autorización (usos restringidos al proyecto, o para otros usos relacionados).

²Que puede ser el CEI-UAM o, en su caso, el CEI de otra institución colaboradora con el Programa de Doctorado, que tendrá que especificarse y adjuntarse.

- En el **supuesto B**, se deberá adjuntar el documento del Registro Central de Delinquentes Sexuales.³ En el caso de estudiantes extranjeros (incluidos los nacionales de Estados miembros de la Unión Europea), este certificado deberá ser complementado con certificado equivalente expedido por el país de su nacionalidad, pudiendo aceptarse la aportación por parte del interesado del resguardo de haber solicitado el certificado a las autoridades de su país junto con una declaración responsable⁴ con carácter provisional hasta la aportación del certificado original.
- En el **supuesto C**, si la investigación es prospectiva, se deberá aportar el documento de **consentimiento informado** a utilizar donde conste la información detallada que recibirá el participante en el estudio. Si la investigación es retrospectiva deberá presentarse la autorización del uso de las muestras, que deberán tratarse de forma **anónima**, a menos que se justifique adecuadamente la necesidad del tratamiento de forma no anónima, en cuyo caso se necesitará **consentimiento informado y documento de confidencialidad**.
- En el **supuesto D**, se deberá adjuntar el Informe del Órgano Encargado del Bienestar de los Animales (OEBA) y, en su caso, del Órgano Habilitado.
- En el **supuesto E**, se debe adjuntar el informe del Comité de Bioseguridad o del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Centro en el que se llevará a cabo la experimentación. Asimismo, se deberán enumerar los agentes biológicos a utilizar y describir las medidas de contención del laboratorio donde se van a realizar los trabajos.
- En el **supuesto F**, se debe adjuntar el informe del Comité de Bioseguridad o del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Centro en el que se llevará a cabo la experimentación. Se debe declarar la categoría de riesgo de los OMGs empleados y su procedencia, así como los organismos receptores y donantes empleados y los vectores utilizados.

Datos necesarios para la tramitación por el CEI:

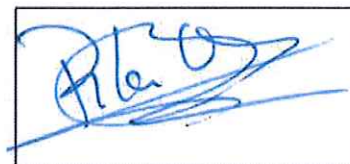
- Título de la Tesis:
- Doctorando:
- Teléfono del doctorando:
- Correo electrónico del doctorando:
- Programa de Doctorado en:
- Director:
- Tutor (si el Director es externo):



Firma Doctorando



Vº Bº Director



Vº Bº Tutor

Fecha

(y del Codirector en su caso)

(en su caso)

a: 26/02/21

³ <http://www.mjusticia.gob.es/cs/Satellite/Portal/es/ciudadanos/tramites-gestiones-personales/certificado-delitos>

⁴ <http://www.uam.es/otros/ceiuam/documentCEI.htm>

