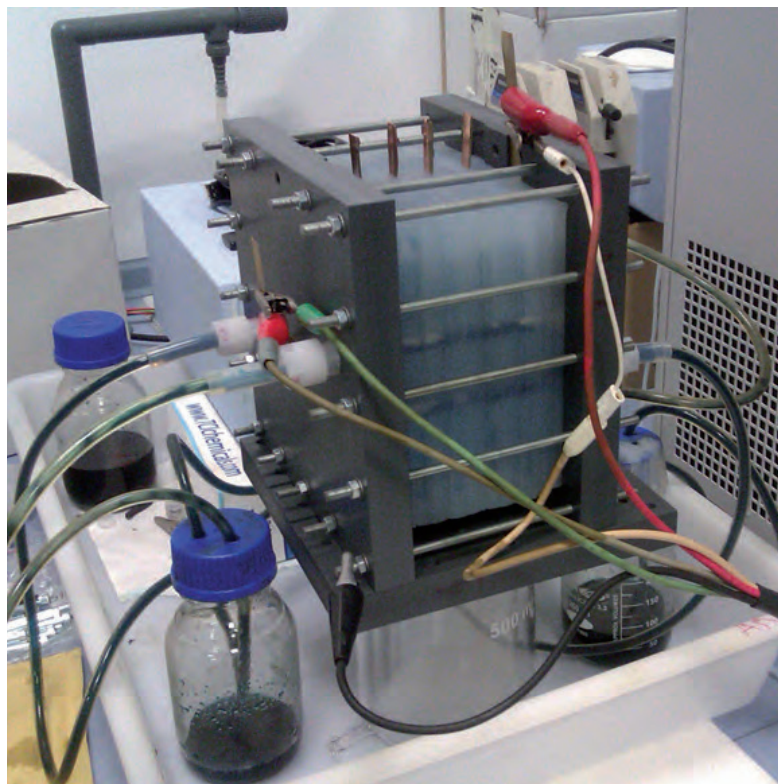


El almacenamiento de la electricidad

Juan Ramón Morante

Energía y medio ambiente

26





Índice

Prólogo	7
1. Resumen ejecutivo. El almacenamiento de la electricidad	11
1.1. El ciclo integral de la electricidad	11
1.2. La naturaleza efímera de la electricidad: la vinculación entre producción y consumo inmediato	13
1.3. El almacenamiento de la electricidad	17
1.4. La importancia del almacenamiento de electricidad	20
1.5. Las aplicaciones y usos del almacenamiento de electricidad	22
1.6. Estrategias funcionales de los sistemas de almacenamiento	23
1.7. Las tecnologías de almacenamiento: tipología	26
1.8. Criterios para evaluar las tecnologías de almacenamiento	47
1.9. Los principales retos para el desarrollo del almacenamiento eléctrico	49
1.10. Las tendencias de futuro: la no explotada capacidad del almacenamiento de electricidad	51
1.11. Tabla resumen	55
2. Sistemas mecánicos	61
2.1. Las centrales hidráulicas de bombeo	62
2.2. Sistemas de almacenamiento de energía por aire comprimido (CAES)	73
2.3. Volantes de inercia	83
2.4. Tabla resumen	89
3. Sistemas electroquímicos	91
3.1. Conceptos	93
3.2. Funcionamiento detallado	95
3.3. Campos de aplicación	97
3.4. Niveles de implantación	98
3.5. Cuantificación de resultados energéticos y evaluación económica	99
3.6. Ventajas e inconvenientes	101
3.7. Claves para su desarrollo	102
3.8. Las baterías de plomo-ácido	102
3.9. Las baterías secundarias con electrolito alcalino	111
3.10. Las baterías de sodio de alta temperatura	121
3.11. Las baterías de ion-litio	132
3.12. Las baterías de flujo redox	143
3.13. Nuevos tipos de baterías electroquímicas	155
3.14. Los condensadores electroquímicos	160
3.15. Tabla resumen	167
4. Sistemas químicos	171
4.1. Conceptos	173





4.2. Funcionamiento detallado	175
4.3. Campos de aplicación	180
4.4. Ejemplos prácticos	180
4.5. Cuantificación de resultados energéticos y evaluación económica	187
4.6. Ventajas e inconvenientes	188
4.7. Claves para su desarrollo futuro	190
4.8. Tabla resumen	192
5. Sistemas térmicos	193
5.1. Conceptos	194
5.2. Funcionamiento detallado	194
5.3. Campos de aplicación	208
5.4. Ejemplos prácticos	210
5.5. Cuantificación de resultados energéticos y evaluación económica	216
5.6. Ventajas e inconvenientes	218
5.7. Claves para su desarrollo futuro	219
6. Sistemas de superconducción	225
6.1. Conceptos	226
6.2. Funcionamiento detallado	227
6.3. Campos de aplicación	227
6.4. Ejemplos prácticos	228
6.5. Cuantificación de resultados energéticos y evaluación económica	230
6.6. Ventajas e inconvenientes	231
6.7. Claves para su desarrollo futuro	232
7. Electrónica de potencia	233
7.1. Plantas de generación renovable	234
7.2. Redes inteligentes y microrredes	238
7.3. Vehículos eléctricos	240
7.4. Conclusiones	243
8. Barreras a superar	247
8.1. Barreras económicas y regulatorias	251
8.2. Barreras tecnológicas	260
8.3. Barreras geopolíticas	262
8.4. Barreras ambientales	269
8.5. Barreras sociales	273
8.6. Conclusiones	275
9. Evaluación de costes económicos	281
9.1. Modelo de evaluación de costes	281
9.2. Aplicación del modelo	284
9.3. Conclusiones	294
Anexo. Glosario de términos técnicos	297





Coordinación y dirección

Juan Ramón Morante. Director del Área de Materiales Avanzados para la Energía del Instituto de Investigación en Energía de Cataluña, IREC.

Colaboradores del IREC

Cristina Flox. Doctora en Química, Área de Materiales Avanzados para la Energía.

Marcel Skoumal. Doctor en Química, Diseño y Caracterización de Prototipos de Baterías.

Marc Vives. Ingeniero de Proyectos, Área de Eficiencia.

Jaume Salom. Doctor en Ingeniería Eléctrica, Grupo de Energía Térmica y Edificación.

Elena Fuentes. Doctora en Ingeniería Química, Laboratorio semi-virtual en Tarragona.

Lluís Trilla. Ingeniero industrial y doctor en Ingeniería Eléctrica, Área de Modelización y Control de Aerogeneradores

Francisco Díaz. Doctor en Ingeniería Eléctrica, Área de Ingeniería Eléctrica.

Miguel Cruz. Ingeniero industrial, Área de Economía Energética.

Edita

Fundación Gas Natural Fenosa

Plaça del Gas, 8

08201 Sabadell (Barcelona)

Teléfono: 93 412 96 40 Fax: 93 745 03 20

www.fundaciongasnaturalfenosa.org

1ª edición, 2014

ISBN: 978-84-695-9897-9

Depósito legal: B-9269-2014

Impreso en España





Autores

Juan Ramón Morante

El profesor Juan Ramón Morante es, desde 1985, catedrático de la Facultad de Física de la Universitat de Barcelona y desde 2009 es el director del Área de Materiales Avanzados para la Energía del Instituto de Investigación en Energía de Cataluña, IREC. Previamente ha sido vicedecano y decano de la Facultad de Física de la Universitat de Barcelona, director del Departamento de Electrónica de dicha universidad, jefe de estudios de Ingeniería Electrónica y co-coordinador del Máster interuniversitario entre la Universitat de Barcelona y la Universitat Politècnica de Catalunya sobre Ingeniería en Energía.

Actualmente es también director de la Red de la Generalitat de Catalunya sobre Materiales Avanzados para la Energía, Xarmae, vicepresidente de la Sociedad Europea para la Investigación en Materiales, E-MRS, y miembro de diferentes comités internacionales.

Sus actividades, inicialmente, se centraron en la Investigación y Desarrollo de Materiales y Dispositivos Electrónicos habiéndose focalizado en el campo de los sensores, actuadores, microsistemas y sistemas totalmente autónomos.

Actualmente, sus actividades de investigación se centran en los mecanismos de transferencia de energía implicando electrones, fotones, fonones y moléculas químicas, habiéndose centrado en su aplicación en las tecnologías en el campo de los dispositivos para energías renovables y los sistemas energéticos basados en el uso de nano materiales y su funcionalización. Asimismo, ha centrado sus desarrollos tecnológicos en el campo de la conversión y almacenamiento de la energía.

Es co-autor de más de 500 publicaciones y diversas patentes, ha dirigido 35 tesis doctorales, ha participado/coordinado numerosos proyectos en diferentes programas internacionales e industriales, ha sido organizador de diferentes conferencias científicas tecnológicas internacionales en el campo de sensores/microsistemas y de la “nano-energía” y ha sido distinguido

con la medalla Narcís Monturiol de la Generalitat de Catalunya.

Cristina Flox

Doctora en Química por la Universitat de Barcelona, especializada en Electroquímica y Diseño de Reactores de Flujo.

Actualmente es investigadora dentro del Área de Materiales Avanzados para la Energía del IREC. Su actividad se basa en el diseño y síntesis de materiales avanzados nanoestructurados aplicados a nuevas tecnologías de almacenamiento de energía electroquímica, así como en el desarrollo de nuevos métodos para diagnosticar y pronosticar su tiempo de vida.

Marcel Skoumal

Doctor en Química por la Universitat de Barcelona. Actualmente trabaja en el IREC en el Diseño y Caracterización de Prototipos de Baterías.

Se especializó en tratamientos químicos y electroquímicos para la eliminación de fármacos y productos de higiene personal de aguas para el consumo humano, y partir de 2010 su actividad se ha focalizado en el campo de la energía centrándose en las baterías de flujo para mejorar sus cualidades y estudiar variantes como las baterías de flujo de semisólidos, basadas en la química del ión litio.

Marc Vives

Ingeniero de proyectos en el Área de Eficiencia del IREC. Ingeniero en Industrias Agrarias y Alimentarias y Máster en Energías Renovables. Es experto en energía solar térmica aplicada a viviendas y edificios así como grandes instalaciones aplicadas a la industria u otros grandes consumidores térmicos. Dispone de 8 años de experiencia en sistemas de energía renovable realizando tareas de ingeniería así como proyectos de consultoría técnica.





Jaume Salom

El Doctor Jaume Salom lidera el Grupo de Energía Térmica y Edificación del IREC desde el año 2010. Doctorado en Ingeniería Energética por la Universitat Politècnica de Catalunya. En el año 1999 fundó el proyecto AIGUASOL, el cual ha co-dirigido y convertido en una referencia internacional en el campo de la eficiencia energética térmica, energías renovables, desarrollo de software y análisis energéticos de edificios. Se trata de uno de los principales actores que ha participado en el desarrollo del software TRANSOL para la simulación y el diseño de sistemas solares térmicos y ha participado en varios cursos de postgrado como profesor invitado, así como participando y coordinando varios proyectos Internacionales.

Elena Fuentes

Responsable del Laboratorio semi-virtual del IREC en Tarragona. Doctora en Ingeniería Química por la Universidad Politécnica de Valencia. Tiene más de 6 años de experiencia en el campo de la investigación como investigadora asociada en la Universidad de Manchester (UK). Ha participado en varios proyectos internacionales y es experta en la dirección de ensayos experimentales en laboratorios.

Lluís Trilla

Ingeniero Industrial y doctor en Ingeniería Eléctrica por la Universitat Politècnica de Catalunya. Ha trabajado en el desarrollo de proyectos de entroncamiento eléctrico en baja y media tensión y en el diseño de estrategias de control para actuadores eléctricos incluyendo su implementación y verificación. Actualmente trabaja en el IREC en las áreas de modelización y control de aerogeneradores, diseño de convertidores de potencia y en el análisis de integración a red de parques de generación eólica y undimotriz vinculados a proyectos industriales y públicos.

Francisco Díaz

Recibió la licenciatura en Ingeniería Industrial en 2009 y se doctoró en Ingeniería Eléctrica en 2013 por la Universitat Politècnica de Catalunya. Desde septiembre de 2009 trabaja como investigador en el Área de Ingeniería Eléctrica del IREC. Además, durante la segunda mitad de 2012 colaboró como investigador en Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES, Kassel, Alemania). Su experiencia incluye aspectos de modelización, simulación y testeo experimental en laboratorio de sistemas mecánicos y eléctricos. Su dedicación actual se centra en el ámbito de la integración en red y desarrollo de nuevos conceptos para parques eólicos, incluyendo la aplicación de sistemas de almacenamiento de energía. Además, participa en actividades de divulgación sobre almacenamiento de energía y estudia su aplicación en proyectos en el ámbito de la fusión nuclear así como en el de los centros de datos.

Miguel Cruz

Ingeniero Industrial por la Escuela Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, y Máster en Economía y Regulación de los Servicios Públicos por la Universitat de Barcelona. Desde 2006 ha estado implicado en numerosos proyectos de investigación en el ámbito de la Economía Energética, siendo miembro del Centro de Investigación CITCEA-UPC (2006-2007), de la Comisión Nacional de Energía (2008), y del IREC (2009 hasta la actualidad). Ha sido jefe de proyecto y/o investigador principal en más de 15 de estos proyectos. Sus áreas de interés son el análisis económico y regulatorio del sector eléctrico, y la aplicación de la investigación operativa para la operación y planificación de los sistemas energéticos. Ha publicado más de 10 artículos en conferencias científicas y revistas. Ha sido investigador visitante en el Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto, Portugal.

