



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR

JORNADA FINAL DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
PROYECTO AGERAR:
ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN APLICACIONES COMERCIALES Y
RESIDENCIALES

Tecnologías electroquímicas de almacenamiento de energía eléctrica

Eduardo López
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

Universidad de Sevilla, ETSI, 19/11/2019

Índice

1. Antecedentes y fundamentos básicos
2. Estado de la tecnología
3. Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR
4. Conclusiones y próximas líneas de trabajo



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR

Antecedentes y fundamentos básicos

Tradicionalmente, el mercado de las baterías secundarias (recargables) contemplaba tres segmentos:

1. Baterías portátiles (capacidad < 6 Ah). Fuente de alimentación para dispositivos de consumo (teléfonos móviles, ordenadores portátiles, etc). Fundamentalmente de litio, con baterías de Ni en algunos nichos específicos.
2. Baterías industriales (capacidad > 6 Ah) para almacenamiento y suministro de energía, utilizadas en aplicaciones estacionarias (p. ej. SAI) o aplicaciones móviles (p. ej. carretillas elevadoras). Segmento dominado principalmente por baterías de plomo, con baterías de Ni en algunas aplicaciones.
3. Baterías de arranque e iluminación para automoción. Segmento dominado por las baterías de plomo.



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR

Antecedentes y fundamentos básicos

Recientemente, la creciente descabornización de la generación y utilización de energía, la generación distribuida y la integración de fuentes de energía renovable han abierto dos nuevos mercados para las baterías:

1. Baterías para almacenamiento y suministro de energía en automoción:
 - Dominio de baterías de Li en vehículos eléctricos (EV) y vehículos híbridos enchufables (PHEV)
 - Dominio de baterías de Li y Ni-MH en vehículos híbridos (HEV)
 - Dominio de baterías avanzadas de plomo-ácido, y baterías de Li en algunos nichos, en micro-hibridación (por ej. Stop&Start.
2. Baterías para el almacenamiento estacionario de energía en redes eléctricas, proporcionando diferentes servicios. Diferentes baterías tecnologías: basadas en litio, sodio, plomo, baterías de flujo, etc.)



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR

Estado de la tecnología

Grado de madurez tecnologías almacenamiento electroquímico

Tecnología	Estado actual	TRL
Baterías de plomo	Tecnología comercial madura	9
Baterías de níquel	Tecnología comercial madura	9
Baterías de sodio	NaS - Demostración a gran escala ZEBRA - Demostración a pequeña escala Na-ion - Laboratorio	8 6-7 2-3
Baterías de ión litio	Aplicaciones para electrónica portátil - Tecnología comercial Aplicaciones a gran escala - Demostración Materiales avanzados - Laboratorio y pequeños prototipos	9 7-8 2-3
Baterías de litio-azufre	Demostración	5-6
Baterías de metal-aire	Li-aire recargable y Al-aire recargable - Laboratorio Zn-aire recargable - Prototipo	2-3 4-5
Baterías de flujo	Vanadio - Demostración Zn-Br - Demostración Otras	7 5 - 6 3 - 4
Condensadores electroquímicos	EDLC - Tecnología comercial temprana Híbridos - Prototipo	8 - 9 4 - 5

Actividad: 2

“Evaluación de tecnologías electroquímicas de almacenamiento de energía eléctrica en el sector comercial, residencial y doméstico”

Eduardo López González
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)
Luis Fialho (UÉvora)



Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

- Acción 2.1:

Evaluación de tecnologías electroquímicas de almacenamiento de energía eléctrica en bancos de ensayo (ion Li y metal aire) y en microrred con energías renovables (sistema híbrido baterías /supercondensadores), enfocado al sector comercial y residencial.

- Acción 2.2:

Evaluación de tecnologías electroquímicas de almacenamiento de energía eléctrica (ion Li y VRB) en aplicaciones domésticas.

Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

La Cátedra de Energías Renovables de la Universidad de Évora desarrolla actividades centradas en la energía solar y el almacenamiento de energía. En sus instalaciones dispone de dos microrredes para la evaluación de tecnologías de almacenamiento de energía solar en baterías:

- I) Microrred VRFB para ensayo y caracterización de sistemas de generación PV , almacenamiento e integración en la red a escala real. Equipado con una batería de flujo redox de vanadio (5 kW/60 kWh), generación fotovoltaica (6,74 kWp) y SCADA
- II) Microrred Li-Ion para ensayo y caracterización de sistemas de generación PV, almacenamiento e integración en la red a escala real. Equipado con baterías avanzadas de iones de litio (30 kWh + 9.8 kWh), generación fotovoltaica (3.3 kWp) y SCADA.



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA

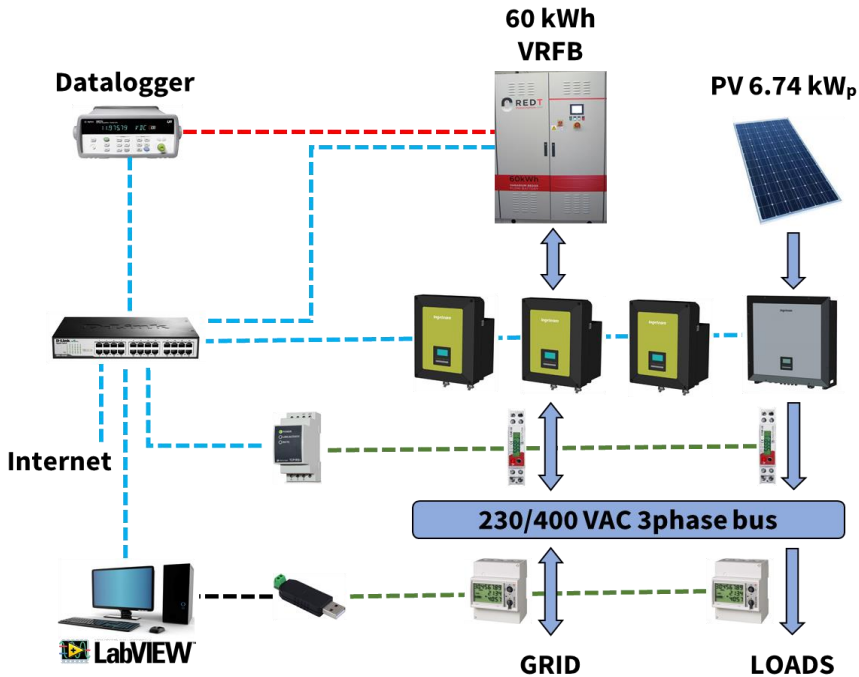


AGERAR

Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

UÉvora: VRFB manufacturer technical specifications

	Units	Value/Range
Number of cells in the stack		40
Electrical connection		Three-phase
Operating voltage	V	50-60
Volume	m³	1.8×2
Weight	Kg	3800
Depth of discharge	%	95
Lifetime		+10,000 deep charge/discharge cycles



Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

UÉvora: Li-ion battery manufacturer technical specifications

	Units	Value/Range
Total Energy Capacity	kWh	9.8 (25°C, 100% SOC)
Usable Energy Capacity	kWh	8.8
Battery Nominal Capacity	Ah	189
Volume	m³	0.05
Weight	Kg	75
Voltage Range	VDC	42.0-58.8
Nominal Voltage	VDC	51.8
Max. Current	A	119 A at 42 V
Nominal / Max. Power	kW	3.3 / 5.0
Peak Power	kW	7.0 kW for 3 sec.
Peak Current	A	166.7 A for 3 sec.
Lifetime (80% DOD, 25°C) / (90% DOD, 25°C)		10000 / 6000
Battery Pack Round-Trip Efficiency	%	>95% (under specific conditions)



Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

Ensayo de baterías en INTA: bancos de ensayo



***4 canales alta potencia**
- Rango voltaje: 0-60Vcc
- Rango intensidad: 0-100 A
- Exactitud medida voltaje: $\pm 60\text{mV}$

***4 canales baja potencia**
- Rango voltaje: 0-5Vcc
- Rango intensidad: 0-10 A
- Exactitud medida voltaje: $\pm 2\text{mV}$

- Cámara Climática DYCOMETAL CCK-40/300e
- Volumen 300 litros
- Control humedad y temperatura
- Temperatura mínima -40°C
- Temperatura máxima 150°C
- Precisión temperatura: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- Precisión humedad: $\pm 0.1\%$



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR

Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

LTO Li-ion cells specifications

	Units	Value/Range
Rated Capacity	Ah	46 (charge @ 0.2C, 23±3°C, discharge@0.2C, 23±3 °C)
Specific Energy	Wh/kg	143
Energy Density	Wh/L	334
Weight (per cell)	kg	Max. 1.190
Cell Dimensions	mm	226 x 227 x 12.5 @ 3.7 ± 0.1V
Voltage	V	3.7 (nominal); 2.7 (lower limit); 4.2 (upper limit)
Current	A	Max. charge cont. 138.0 (3C); Max. discharge cont. 552.0 (12C); Max. discharge Peak. 690.0 (15C, <10 sec, > SOC 50%)
Cycle life to 80% of remaining capacity	Cycles	≥5,000 (1C/1C)

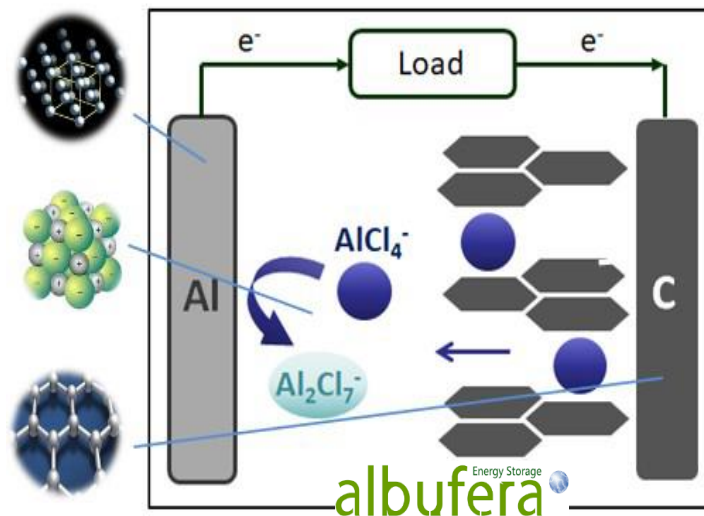
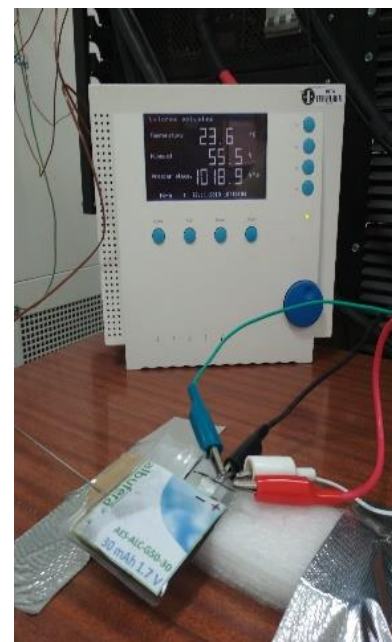
AGERAR Pack (13S1P)		
	Units	Value/Range
Nominal voltage	V	48.1
Max. voltage	V	54.6
Min. voltage	V	35.1
Max. current:		
Charge cont.	A	138.0 (3C) @23±3°C
Discharge cont.	A	552 (12C) @23±3°C
Discharge peak	A	690 (15C) <10sec , > SOC 50%
Nominal Energy Capacity	kWh	2.2
Volume	m³	0.0083
Weight	kg	15.47
Cycle life to 80% of remaining capacity		≥5000 (1C/1C), 80% DOD or 3.4~4.1V (@23±3°C)



Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

Al-ion cells technical specifications

Manufacturer	Albufera Energy Storage	
	Units	Value/Range
Nominal voltage	V	1.7
Max. voltage	V	2.3
Min. voltage	V	1.0
Capacity	mAh	25
Current:		
Charge cont.	mA	25 (1C) @23±2°C
Discharge cont.	mA	2.5 (C/10) @23±2°C
Discharge peak	mA	25 (1C) @23±2°C
Charging temperature range	°C	0-50
Discharging temperature range	°C	0-60



Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

Results of the tests: UÉvora

The Vanadium Redox Flow Battery (VRFB) has been tested at UÉvora in 6 consecutive full charge-discharge cycles, using the range from 5% up to 90% of state of charge.

Total Capacity (Charge Capacity) (kWh)	86.3 ± 2.30
Max. Useful Capacity (Discharge Capacity) (kWh)	66.5 ± 4.26
Energy Density (per unity of mass) (Wh/kg)	18.5 ± 4.26
Energy Density (per unity of volume) (Wh/L)	17.5 ± 4.26
Fastest/Slowest Charge	51h41min. / 70h10min.
Fastest/Slowest Discharge	26h54min. / 109h7min.
Charge and Discharge Efficiency (complete cycles) (%)	77.1 ± 3.36
Max. Charge and Discharge Power (kW)	7.20
Response Time	Seconds (s)
Typical discharge time	Hours (h)

The lithium-ion battery of UÉvora has been rehearsed at constant power rates, from a range of 20% to 90% of state of charge, corresponding to a period of 27 complete cycles.

Total Capacity (Charge Capacity) (kWh)	6.46 ± 0.482
Max. Useful Capacity (Discharge Capacity) (kWh)	5.45 ± 0.373
Energy Density (per unity of mass) (Wh/kg)	72.73 ± 4.967
Energy Density (per unity of volume) (Wh/L)	109.11 ± 7.450
Fastest/Slowest Charge	2h04min / 10h46min
Fastest/Slowest Discharge	1h33min / 3h48min
Charge and Discharge Efficiency (complete cycles) (%)	84.6 ± 0.075
Max. Charge and Discharge Power (kW)	3.30
Response Time	Seconds (s)
Typical discharge time	Hours (h)

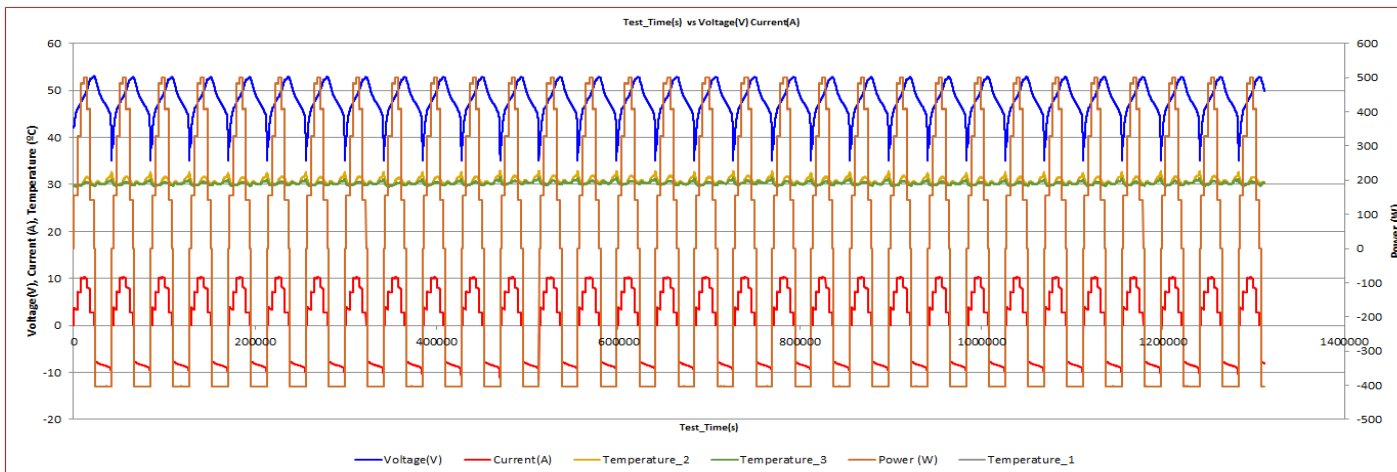
Evaluación de tecnologías de baterías en AGERAR

Results of the tests: INTA

The LTO based Li-ion pack has been tested at INTA for more than 2000 hours, in successive cycles with different load profiles, obtained from real data and simulations, for winter and summer seasons in the South of Spain and Portugal. Periodically, the cells have been individually characterized, without significant changes in their performance, in comparison with the initial reference tests

AGERAR Pack (13S1P)

	Units	Value/Range
Usable energy capacity	kWh	2.1
Nominal / Max. Power cont.	kW	2.2 (1C) / 19.4 (12C) @23±3°C
Measured specific energy	Wh/kg	136
Measured energy density	Wh/l	253
Battery Pack Round-Trip Efficiency	%	≥ 97



Conclusiones y próximas líneas de trabajo

- Costes de las tecnologías de baterías utilizadas en el proyecto (en las escalas de los sistemas de almacenamiento evaluados):
 - celdas de LTO, del orden de 1350 €/kWh
 - batería VRFB, del orden de 1000 €/kWh de costes de instalación
 - batería comercial de iones de litio, del orden de 600 €/kWh
- En cuanto a las barreras detectadas para una mayor implantación y acceso a mercado de estas tecnologías de almacenamiento de energía, se tienen entre otras:
 - Soporte técnico insuficiente y dificultad para encontrar interlocutores especializados en todas la cadena de valor asociada a estas tecnologías en empresas del sector.
 - Falta de competencia en el sector. Papel predominante en el mercado de grandes empresas y multinacionales. Elevados precios.
 - Escasa conectividad y posibilidad de integración de productos y servicios de diferentes fabricantes.
 - Falta de información sobre entidades certificadas y procedimientos para el reciclaje y recuperación para segunda vida de baterías de iones de litio.
 - Barreras legislativas.
- Próximas líneas de trabajo, más allá de AGERAR:
 - INTA: Desarrollar un sistema de almacenamiento para una aplicación doméstica a partir de las celdas LTO evaluadas, y su evaluación en condiciones reales de operación
 - UÉvora: Evaluar tecnologías de baterías de NaNiCl para aplicaciones domésticas y residenciales



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR

Conclusiones y próximas líneas de trabajo

- Viabilidad técnica de las baterías VRFB y basadas en LTO para las aplicaciones comerciales y residenciales consideradas en el proyecto AGERAR.
- Gran importancia en las prestaciones globales del EMS ,los dispositivos de acondicionamiento de potencia y la estrategia de operación.
- Los parámetros técnicos medidos de la caracterización realizados demostraron no ser insignificantes en el desarrollo de estas tecnologías y permitirán el desarrollo de estrategias mejoradas de gestión de energía con optimización en el rendimiento de los sistemas, beneficiando al usuario final y los resultados económicos generales de estas energías.
- Los ensayos a las baterías comerciales de VRFB y Li-Ion se realizaron de acuerdo con las especificaciones del fabricante, aunque la batería VRFB superó las prestaciones inicialmente indicadas. Los resultados de los ensayos están siendo utilizado para mejorar el producto en futuras versiones.
- Las baterías LTO muestran un buen comportamiento en diferentes condiciones de funcionamiento, sin disminución significativa de prestaciones tras más de 2000 horas de funcionamiento.
- Con respecto a las baterías de iones de Al, la tecnología es muy prometedora, principalmente en cuanto a coste y cuestiones medioambientales, pero aún es preciso un importante esfuerzo para implementarla en aplicaciones comerciales y residenciales.



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR

Agradecimientos

El proyecto AGERAR ha sido cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER a través del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020

GRACIAS
OBRIGADO



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA



AGERAR