

ingeniería #1  
e industria

www.revistadyna.com

**DYNA**

Revista Bimestral de Ingeniería Multidisciplinar  
Año 90 | N°1 | Enero - Febrero 2015

**SISTEMAS DE RIGIDEZ NO LINEAL**

Análisis de vibraciones

**TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS METÁLICOS**

Proceso de hidro-conformado

**OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRANSPORTE**

Planificación de rutas

**TECNOLOGÍA INDUSTRIAL**

Mejor región rectangular en piezas irregulares

**MOTORES ELÉCTRICOS**

Caracterización de motores de inducción

**HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA**

Análisis experimental de pérdida de adherencia hormigón-acero

**E-SALUD**

Esquemas conceptuales para arquitecturas M2M

**LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS en el nuevo marco europeo**

**BATERÍAS: estado actual y futuras tendencias**

*Feliz año nuevo*



9 770012 736006 01

# BATERÍAS: ESTADO ACTUAL Y FUTURAS TENDENCIAS (2ª parte)

Mayte Gil-Agustí, Leire Zubizarreta, Vicente Fuster, Alfredo Quijano  
 Instituto Tecnológico de la Energía. Avda. Juan de la Cierva, 24 - 46980 Paterna (Valencia).  
 Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n - 46022 Valencia

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7299>

## 1. TECNOLOGÍAS PROMETEDORAS PARA LAS PRÓXIMAS DÉCADAS

Actualmente se están desarrollando nuevos tipos de baterías con resultados prometedores tanto para su aplicación en sistemas estacionarios como móviles. A pesar de los avances que se han ido produciendo en las tecnologías descritas anteriormente, siguen siendo puntos débiles su relativamente baja autonomía para aplicación en el vehículo eléctrico, la necesidad de reducción de costes para aplicaciones estacionarias y la reducción de peso e incremento de la capacidad de almacenamiento en bienes de consumo. Es por esto que además de continuar investigando en las baterías actuales, para solucionar estos inconvenientes han aparecido líneas de investigación y desarrollo en nuevas tecnologías, de las que se espera que puedan suplir los puntos débiles de las actuales.

Tecnologías prometedoras son las que se centran en metal-aire, Litio-Azufre, Sodio-ión u otras emergentes.

### A. METAL-AIRE

Este tipo de celdas están consideradas como las baterías del futuro [1] [2]. A partir de la comercialización de las baterías de Litio, las investigaciones dentro de las tecnologías de celdas electroquímicas recargables se han ido centrando en baterías compuestas por un metal y aire.

En la Figura 1 se puede observar una comparación de la energía específica teórica con distintos metales, destacando por su extremo superior el Litio-aire con 11000 Wh/kg y por el inferior el Zn o Fe-aire con algo menos de 2000 Wh/kg. Para el caso de las primeras, con niveles de densidad energéticos elevados, ya se puede equipar en prestaciones a la autonomía de un vehículo de combustión interna convencional.

Las baterías Metal-aire son las más compactas y potencialmente las más económicas de las que empiezan a estar disponibles en el mercado. Como electrólito se pueden usar líquidos iónicos. Los sistemas Metal-aire más desarrollados hasta el momento son los de Zinc-aire y Litio-aire. Entre los dos; la de Litio-aire tiene el límite más alto de todos los metales, sin embargo, la ventaja de la de Zinc-aire es que son mucho más económicas y seguras desde el punto de vista medioambiental.

Sin embargo, por ahora los usos de este tipo de baterías es-

tán limitados a aplicaciones de baja escala como audiófonos. La mayor desventaja de esta tecnología es la baja eficiencia de alrededor del 50% debido a la ineficiente recarga eléctrica.

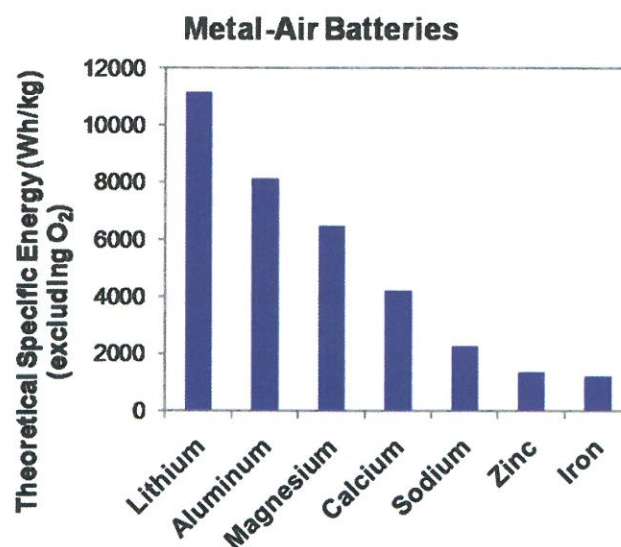


Figura 1: Energía específica teórica de varios sistemas para la tecnología Metal-aire [3]

### B. LITIO-AZUFRE

La tecnología de Litio-azufre (Li-S) han captado mucha atención últimamente debido a su elevada capacidad de energía específica teórica (2500 Wh/kg), cinco veces más elevada que la de las baterías comerciales de tipo  $\text{LiCoO}_2$ /grafito. Como consecuencia, ha suscitado un gran interés como posible tecnología de almacenamiento de energía del futuro, en el área de aparatos electrónicos, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento en energías renovables, tales como la solar o la eólica.

Sin embargo, la baja ciclabilidad de este tipo de baterías es el principal factor que limita su comercialización. Se han investigado un gran número de diferentes electrodos, electrolitos, aditivos y ligantes para intentar solucionar los problemas encontrados en esta tecnología.

Como conclusión de estos estudios cabe destacar que las baterías Litio-azufre poseen un gran potencial como baterías de elevada capacidad de futura generación, siendo los electrodos nanoestructurados de azufre esenciales para acercarse a las prestaciones esperadas en este tipo de baterías. Por otro lado la configuración de la celda con nuevos componentes interesantes otra vía de desarrollo [4] [5].

### C. SODIO-IÓN

Las baterías de sodio fueron investigadas junto a las baterías de litio a finales de los años 1970 y posteriormente duran-

te los años 1980, aunque las ventajas de las baterías de litio, como la elevada densidad de energía como consecuencia de un potencial más alto y menor masa, desplazó el foco de la comunidad investigadora lejos de las baterías de sodio.

Las celdas de Sodio-ión no emplean el sodio como electrodo negativo; utilizan carbonos no grafitizables o compuestos de intercalación. El electrodo negativo es uno de los componentes más críticos de este tipo de celdas; de hecho, carbonos grafiticos típicamente empleados en tecnología de Litio-ión no se pueden usar en esta tecnología. En la descarga, el electrodo negativo se oxida, el sodio se libera hacia el electrolito mientras que el cátodo intercala sodio y se reduce en la descarga.

En la Figura 2 se presenta un resumen de potenciales así como capacidades teóricas alcanzadas para materiales de electrodo positivos y negativos para baterías de sodio ion.

No sorprende que muchos de los materiales utilizados para baterías de Sodio-ión sean similares a los que se han investigado durante los últimos 20 años en aplicaciones de Litio-ión, incluyendo a los óxidos de metales de transición, olivinos y otros compuestos relacionados con NASICON. Además, estos materiales con sodio se pueden usar en cátodos ya que pueden ser ciclados tanto frente a un electrolito de sales de sodio en baterías de Sodio-ión como frente a uno de litio con electrolitos de sales de litio en baterías híbridas Na/Li-ión [6].

#### D. OTRAS

Se ha visto que hay nuevas formas de almacenamiento, podemos destacar alternativas como la basada en la tecnología Redox, baterías líquidas o de metales fundidos [7] u otras basadas en Magnesio [8].

La basada en la tecnología Redox la han denominado *The Cambridge Crude*. Las investigaciones se han dirigido a tratar de combinar las ventajas de la elevada capacidad de las

baterías de flujo con la densidad de energía de las de Litio-ión. Para ello los materiales circulantes no son soluciones sino suspensiones concentradas de nanopartículas de la familia del litio en un electrolito: óxido de litio-cobalto o fosfato de litio-hierro para el cátodo y titanato de litio para el ánodo. De esta manera, se han alcanzado densidades de energía de 300 y 500 Wh/litro y energías específicas de 130 a 250 Wh/kg, y con unos costos mucho menores que la equivalente de Li-ion, según indican los investigadores.

La tecnología de las baterías líquidas o de metales fundidos funcionan con electrodos de metales fundidos, y electrolito de sal fundida. Esto da como resultado un dispositivo inusualmente maleable que puede absorber grandes cantidades de electricidad rápidamente. Como ventajas para este tipo de tecnología cabe destacar que los electrodos pueden funcionar bajo corrientes eléctricas muy elevadas y además, de los materiales económicos y diseños que permiten una fabricación simple.

Las baterías basadas en magnesio son una alternativa a los sistemas de Litio-ion viable y respetuosas con el medioambiente y no tóxicas. La enorme capacidad volumétrica del Magnesio respecto al Litio (3833 mAh/cc para Mg contra 2046 mAh/cc para Li) la hacen útil en aplicaciones estacionarias.

## 2. NUEVAS PERSPECTIVAS DE DESARROLLO

Las recomendaciones de la European Association for Storage of Energy / European Energy Research Alliance (EASE/EERA) [9] marcadas en su hoja de ruta hacia 2030 se centran en las tecnologías de almacenamiento electroquímicas consideradas como las más prometedoras para el desarrollo del mercado en el horizonte de 10-20 años.

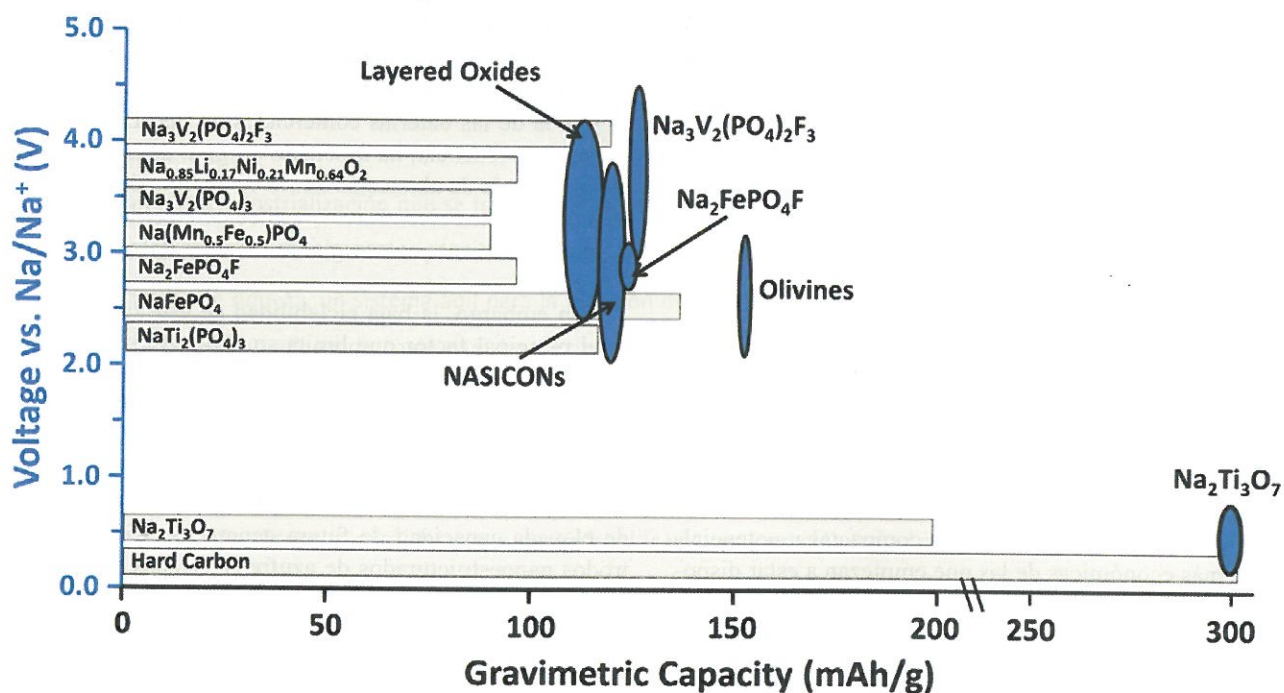


Figura 2: Materiales de intercalación clave aplicables para electrodos tanto positivos como negativos en celdas de sodio-ion: en los círculos azules se muestran las capacidades teóricas de varios materiales respecto a sus potenciales, mientras que las barras grises muestran las capacidades alcanzadas [6]

Se ha prestado especial atención a las propiedades de las tecnologías de almacenamiento identificadas así como a su desarrollo potencial en un futuro no lejano. Las propiedades técnicas que se establecen se basan en la densidad de energía y potencia, respuesta y descarga con el tiempo, eficiencia, duración en tiempo y en ciclos, coste, o seguridad, entre otros.

A pesar de que la posición de Europa es fuerte en el campo de las tecnologías de Plomo-ácido y Ni-Cd, la situación con la tecnología de baterías de ion-litio es diferente ya que está dominada actualmente por actores asiáticos (Japón, Co-

rea, China) debido a su utilización en numerosos productos de consumo (teléfonos móviles, portátiles, etc.). Sin embargo, el desarrollo del mercado europeo de baterías para aplicaciones como el transporte y estacionarias representa una gran oportunidad para los fuertes proveedores industriales de baterías (p.ej. Saft, Fiamm) soportados por un red de I+D capaz de competir frente a la industria asiática en este campo. La electroquímica es el núcleo central de las baterías, electrolizadores, supercondensadores y pilas de combustible, y esto hace necesario una unión cercana entre los centros de investigación

Tipo batería	Rendimiento actual	Objetivo 2020-2030	Objetivo 2050
Litio-ión (Versión energía)	Máximo: 241Wh/kg 535Wh/l(tipo Co) ~500 ciclos Seguridad elevada: 130Wh/kg 300Wh/l ( tipo LFP) ~2.000 ciclos -20, +60°C ~ 500-1.000€/kWh (o 25c€/kWh/ciclo)	Máximo: ~180-350Wh/kg 350-800Wh/l  Seguridad elevada > 10.000 ciclos -20, +70°C ~ 200€/kWh (o 10c€/kWh/ciclo) p.e. tipo fosfatos <10€/kg u óxidos <20€/kg; separador <1€/m <sup>2</sup>	Máximo: >350Wh/kg 800Wh/l  Seguridad elevada >10.000 ciclos -20, +70°C < 200€/kWh
Litio-ión (Versión potencia)	50-90Wh/kg 105- 190Wh/l ~ 3kW/kg ~10.000 cycles -10, +60°C > 1.000€/kWh	170-220Wh/l >5kW/kg Seguridad elevada >15 años -20, +70°C ~ 20€/kW <10€/kg (p.e. tipo LTO)	>100Wh/kg -220Wh/l ~10kW/kg Seguridad elevada >15 años -20, +70°C ~ 20€/kW o <
De flujo redox (Vanadio, ZnBr <sub>2</sub> )	10-20Wh/kg 15- 25Wh/l (Vanadio); 10-20 años (>10.000 ciclos) 10, +40°C  50-60Wh/kg (tipo ZnBr <sub>2</sub> ); >2.000 ciclos Coste energía 400€/kWh Coste potencia 600€/kW	Gen2 Vanadio Bromo 20-40Wh/kg Ampliación del rango de opera- ción (>100°C) Coste energía 120€/kWh Coste potencia 300€/kW	Reducción del coste del Sistema global 3c€/kWh  Coste energía 70€/kWh Coste potencia 200€/kW
Metal-aire	700Wh/kg Pocos ciclos	>500Wh/kg 300-500€/kWh 3.000 ciclos	500-1.000Wh/kg 10.000 ciclos ~100€/kWh
Sodio-ión		Se espera reducir el precio de ba- tería ~40%	
Litio-azufre	350Wh/kg - 350Wh/l Elevada autodescarga 4-6%/mes (migración S), corta vida (60-100 ciclos), problemas de seguridad -40°C-25°C	500Wh/kg 3.000 ciclos <350€/kWh	600Wh/kg 10.000 ciclos ~200€/kWh

Tabla 1: Directrices del SET Plan [9]

y la industria. Europa se ha fortalecido en los últimos tiempos en este campo, en términos de materiales innovadores, química y diseño de las baterías, y se vislumbra que las alianzas estratégicas en investigación pueden mejorar aún más las tasas de descubrimiento.

Para alcanzar los objetivos fijados en la Tabla 1, las necesidades de investigación se centran en los siguientes puntos.

- La investigación debe centrarse tanto en mejorar el funcionamiento de las baterías a nivel de celda como en el diseño del sistema de baterías (conectores, interacción con la red, etc.). La investigación en las diferentes químicas tiene también potencial de mejora, ya que no se ha acometido suficientemente para nuevas funcionalidades. Debe incluir también una investigación enfocada a desarrollar sistemas inteligentes de gestión de baterías, incluyendo la electrónica y sistemas para el control de calidad.
- Las prioridades más inmediatas incluyen mejoras en la ciclabilidad y tiempo de vida útil de las baterías mediante el estudio del mecanismo de degradación. Las baterías avanzadas de plomo, níquel, sodio y litio presentan todavía gran potencial que todavía debe desarrollarse aumentando la seguridad de las baterías de ion-litio y extendiendo el rango de temperaturas de operación (de -20 a +60°C).
- También es muy recomendable una investigación más exploratoria sobre nuevos materiales de nuevos sistemas electroquímicos (p.e. Metal-aire, baterías líquidas, baterías basadas en Mg, ión-fluoruro, ión-cloruro, otros sistemas de conversión, celdas de hasta 5 V) con objetivos adicionales para el periodo 2020-2030 para reducir el coste de la batería más de un 40%.
- En general, los objetivos técnicos y económicos de las tecnologías emergentes estimadas para el horizonte 2020-2030 son: más de 500Wh/kg, más de 3000 ciclos completos de carga/descarga y un coste de celda menor de 350 €/kWh.
- Desarrollo de software con el objeto de modelizar y controlar las tecnologías de baterías y facilitar la integración del almacenamiento electroquímico en el sistema eléctrico y en el vehículo eléctrico.

- Investigación intensa en materiales para conseguir los avances necesarios en aplicaciones de almacenamiento en la red eléctrica. Para ello se tienen en cuenta todas las tecnologías maduras (plomo-acido, alcalinas, litio, de elevada temperatura), teniendo en cuenta que cada una de ellas tiene suficiente potencial de mejora técnica significativa, y puede ser de gran utilidad para la operación del sistema eléctrico.

### 3. APLICACIONES POTENCIALES EN LA RED Y EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El almacenamiento electroquímico y con él su elemento principal, como son las baterías, tiene un amplio potencial de crecimiento tanto en aplicaciones estacionarias, es decir, las ligadas a redes eléctricas, como en las que se sitúan en sistemas móviles, aplicadas principalmente al vehículo eléctrico.

Se estima que los sistemas de almacenamiento electroquímico son uno de los puntos clave para facilitar la transición desde la generación eléctrica centralizada hacia redes distribuidas, al mismo tiempo que ayuda en la penetración de las energías renovables no gestionables (fotovoltaica y aerogeneradores). En la Tabla 2 se muestra un esquema comparativo, en este aspecto, de las diferentes tecnologías de almacenamiento competitivas respecto al tipo de aplicación y las posibilidades y el grado de adecuación para cada combinación.

En cuanto a aplicaciones de movilidad [9] para propulsar el vehículo eléctrico, las baterías recargables de litio-ion son en la actualidad la solución más práctica. Sin embargo, existen varias limitaciones a tener en cuenta.

La principal está relacionada con el tamaño de la batería. Si se busca un vehículo eléctrico que sea similar a los vehículos de combustión, en términos de tamaño, espacio y peso, las baterías no deberían de pesar más de 300 kg, con un volumen menor de 200 l. En general, para tener una autonomía de unos 100 km con un vehículo eléctrico, se necesitan alrededor de 20 kWh. Desafortunadamente, el estado del arte de la tecnología de baterías de Litio-ión muestra que

Application	Pb acid	Ni/MH	Na/S	Na/NiCl <sub>2</sub>	Redox Flow	Li/ion	Super capacitor
Time-shift	●	●	●	●	●	●	●
Renewable integration	●	●	●	●	●	●	●
Network investment deferral	●	●	●	●	●	●	●
Primary Regulation	●	●	●	●	●	●	●
Secondary Regulation	●	●	●	●	●	●	●
Tertiary Regulation	●	●	●	●	●	●	●
Power System start-up	●	●	●	●	●	●	●
Voltage support	●	●	●	●	●	●	●
Power quality	●	●	●	●	●	●	●

● Very suitable   
 ● Less suitable   
 ● Unsuitable

Tabla 2: Comparativa entre los diferentes sistemas de almacenamiento electroquímico para aplicaciones de redes eléctricas [9]

las baterías para aplicaciones de vehículo eléctrico (con todos los accesorios y sistemas auxiliares) poseen una energía específica de alrededor de 100 Wh/kg en baterías convencionales. En el mercado comienzan a comercializarse baterías con densidades mayores lo que se conseguiría alcanzar mayores autonomías tal como se muestra en la Figura 3. Pero siguiendo el planteamiento anterior, eso significa, que con una batería de 300 kg, obtenemos solo 30 kWh, que supondría una autonomía menor de 150 km con una batería totalmente cargada (lógicamente el dato de la autonomía es muy dependiente de la tipología del trayecto y el modo de conducción, además de otras variables). Por lo tanto, para el desarrollo de las baterías de Litio-ión en esta aplicación es necesario hacer frente a estas limitaciones.

En la Figura 3 se observa la situación actual y perspectivas futuras para las diferentes tecnologías susceptibles de ser usadas en el VE. Se ven las densidades de energía alcanzadas y las que se prevén alcanzar en un futuro no lejano. Tecnologías que contienen litio son las tecnologías potenciales para la mejora, desarrollo y lanzamiento del VE.

Dejando aparte las posibilidades de hibridación con otro tipo de tecnologías para aumentar la autonomía, que pasan en la actualidad por motores de combustión interna y en un futuro pueden involucrar pilas de hidrógeno, la alternativa a corto y medio plazo reside en mejorar las baterías de Litio-ión y desarrollar otros tipos, como las de Litio-azufre y en un futuro más lejano el uso de las Litio-aire.

## PARA SABER MÁS

- [1] Z.Wen, J. Cao, Z. Gu, X. Xu, F. Zhang, Z. Lin. Research on sodium sulfur battery for energy storage. *Solid State Ionics*. 179 (2008) 1697-1701.
- [2] J.M. Canales-Segade, J. Andoni Barrera-Bruña, U. Iraola, D. Garrido-Díez. Baterías y acumuladores del S. XXI. *Dyna* Marzo - Abril 2012, Vol. 87 nº2
- [3] Batteries for Oxygen Concentrators, Current Projects NASA, 2013.
- [4] J.M. Canales-Segade, J.A. Barrera-Bruña, U. Iraola, D. Garrido-Díez. Baterías y acumuladores del S. XXI. *Dyna* Mayo - Junio 2012, Vol. 87 nº3
- [5] L. Chen, L. L. Shaw. Recent advances in lithium-sulfur batteries. *Journal of Power Sources* 267 (2014) 770-783.
- [6] B.L. Ellis, L.F. Nazar, Sodium and sodium-ion energy storage batteries, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 16 (2012) 168-177.
- [7] I. F. de Aguirre, ¿Vuelve la corriente continua? *Dyna*, Noviembre - Diciembre 2012, Vol. 87, nº6.
- [8] P. Saha, M. Kanchan Datta, O.I. Velikokhatnyi, A. Manivannan, D. Alman, P.N. Kumta. Rechargeable magnesium battery:

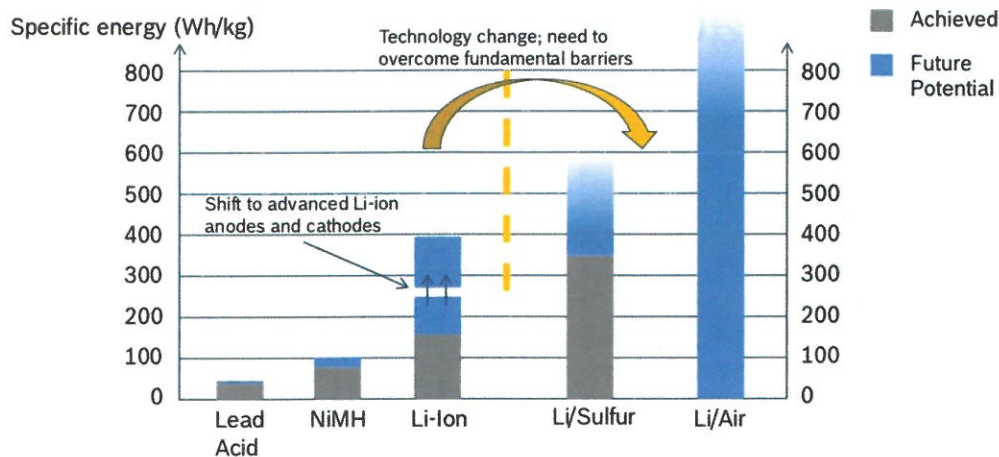


Figura 3: Perspectivas de los nuevos diseños de celdas [10]

Current status and key challenges for the future. Progress in Materials Science 66 (2014) 1-86

- [9] Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030 March.
- [10] Future trends of batteries for e-mobility, Bosch research and technology center, Palo Alto, 2011

Ingeniería y fabricación de reóstatos líquidos. Visite nuestra página web: [www.sumintec.com](http://www.sumintec.com)





La mejor solución para el arranque de motores eléctricos de rotor bobinado.

SUMINISTROS INDUSTRIALES TECNOLÓGICOS, S.A.

Pol. Ind. Achucarro, calle 3, pab. 10, 48.480 Arrigorriaga

tlf.: +34 944334604 email: [reostatos@sumintec.com](mailto:reostatos@sumintec.com)