

## Ensayos

# Estudio y fabricación de una batería ácido plomo

### Resumen

La propuesta de la fabricación de una batería ácido plomo de forma manual (rudimentaria) procede de la búsqueda de alternativas para la acumulación de energía eléctrica de manera ecológica. Es sabido que la configuración de una batería ácido-plomo no es ecológica, sin embargo, el sencillo principio físico-químico con el que funcionan, permite su construcción con materiales básicos, como: el plomo, ácido sulfúrico, agua destilada, tela sintética y un contenedor no corrosivo, que con un bajo mantenimiento pueden ser utilizadas varias veces, además de la importante cualidad de que sus materiales pueden ser separados y reciclados fácilmente, propiciando un bajo impacto al medio ambiente. Aquí se presenta una metodología de la construcción de versiones simples de baterías ácido-plomo, la elaboración parte de la integración de materiales disponibles comercialmente. Para lograr este objetivo se hace el estudio de su composición y funcionamiento.

### Abstract

*The purpose of building a lead-acid battery comes from the desire to find a way to provide an environmentally friendly alternative for storing energy. It is known that the lead-acid battery configuration is not environmentally friendly. However, its simple physical-chemical structure enables it to be built with basic materials, such as lead, sulfuric acid, distilled water, synthetic fabric and a non-corrosive container. With little maintenance it can be used many times, and these elements can be separated and easily recycled, which results in a low environmental impact.*

*A methodology for the construction of simple lead-acid batteries with readily available commercial materials is presented. In order to achieve this goal, a composition and operation study was carried out.*

### Résumé

La proposition de la fabrication d'une batterie plomb-acide de manière manuelle (rudimentaire) résulte d'une recherche d'alternatives pour l'accumulation d'énergie électrique de manière écologique. On sait que la configuration d'une batterie plomb-acide n'est pas écologique, cependant, le principe simple physico-chimique avec lequel elles fonctionnent, permet sa construction avec des matériaux de base tel que : le plomb, acide sulfurique, eau distillée, tissu synthétique et un conteneur non corrosif. On sait aussi qu'avec un entretien minimal ces batteries peuvent être utilisées plusieurs fois, sans oublier l'importante avantage que leurs matériaux peuvent être séparés et recyclés facilement, générant un faible impact sur l'environnement. On présente ici une méthodologie pour construire des versions simples de batteries plomb-acide : l'élaboration commence par l'intégration de matériaux disponibles commercialement. Pour atteindre cet objectif on réalise une étude de leur composition et fonctionnement.

Carlos Antonio de Alba Padilla,  
María Gabriela Muñoz Guillen

**Palabras clave:** Pila, batería, ácido sulfúrico, batería secundaria, ácido-plomo.

## Introducción

La configuración de una batería de ácido plomo pertenece a la clasificación de baterías secundarias, es decir baterías recargables o acumuladores; fue desarrollada por el físico francés Gastón Planté en 1859 (Planté and Faure, 1881); siendo éste uno de los diseños más antiguos de baterías recargables (Gladstone & Hibbert, 1890). Aún en la actualidad es una de las más utilizadas debido a que puede producir una corriente suficiente como para mover diversos tipos de motores eléctricos con un bajo costo (Randall-Reilly, 2011; Miller, C. 2009; Reed Business Information, 2008; Perrin, M., et. al. 2005; Hawker Group, 1999a).

Las características de construcción de esta configuración son: como conductor iónico o electrolito se emplea una disolución de ácido sulfúrico;

Tecnológico de Estudios Superiores de  
Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

la placa negativa (cátodo) es de plomo (plomo esponjoso) y la positiva (ánodo) también de plomo pero éste recubierto de dióxido de plomo (Gladstone, J. H., & Tribe, A., 2012), encontrándose en un contenedor el electrolito; sumergidos en éste, el ánodo y el cátodo con un aislante intermedio para impedir cortocircuito (Fig. 1).

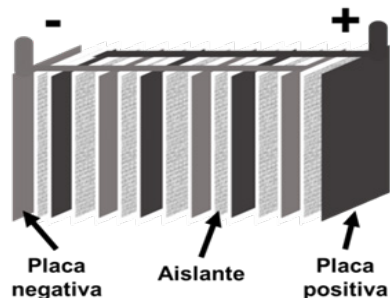
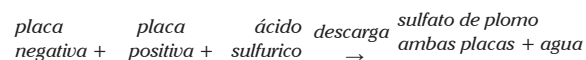
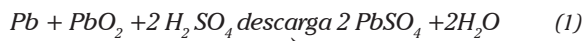


Fig. 1. Estructura de una celda compuesta por 8 placas. La placa negativa de plomo y la positiva de plomo recubierto de dióxido de plomo, ambas separadas por fibras sintéticas (aislante).

La combinación del plomo con el electrolito, es decir con el ácido sulfúrico ( $2H_2SO_4$ ), produce inicialmente como resultado de la oxidación sulfato de plomo ( $PbSO_4$ ). Posteriormente al aplicar una corriente eléctrica entre las placas ocurre la electrólisis del agua (Fig. 2), de modo que se libera hidrógeno ( $H_2$ ) en la placa negativa y oxígeno ( $O_2$ ) en la positiva, esto a su vez genera dióxido de plomo ( $PbO_2$ ) en la placa positiva y en la negativa se tiene una pérdida de electrones, de donde recibe el nombre de plomo esponjoso (Pb). En general la ecuación de las placas se describe en (1), del lado izquierdo muestra las características con carga y a la derecha el resultado inicial de la oxidación.



El proceso de carga de la batería se obtiene al hacer fluir corriente eléctrica entre las placas, así que en la placa positiva debido a la acumulación de dióxido de plomo se tiene una carga positiva y en la negativa por la falta de electrones carga negativa. Sin embargo, estas baterías pierden su vida útil relativamente rápido, ya que con el paso del tiempo el agua se descompone en gases y el ácido sulfúrico se convierte en sulfato de plomo (Johnson, D. A., & Open, U. 2002; Linden, D. & Reddy, T. B. 2002).

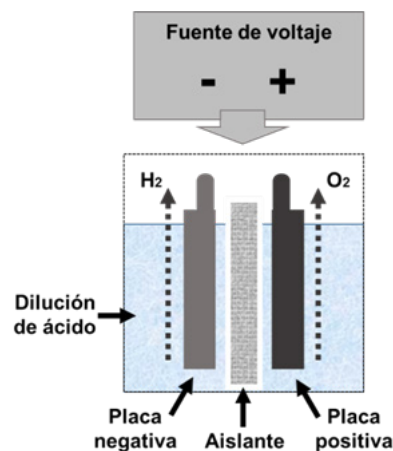


Fig. 2. La aplicación de voltaje en las placas produce electrólisis en el agua desintegrándose en hidrógeno y oxígeno, este último permite la formación de dióxido de plomo en la placa positiva.

## Desarrollo

Partiendo del modelo de Planté, es decir configuración ácido-plomo, se desarrollaron varias versiones de baterías en búsqueda de la más sencilla de realizar, con el mejor comportamiento. Aunque se sabe que este tipo de baterías han sido ampliamente estudiadas, se propone una metodología que permita que cualquiera pueda llevar a cabo su realización, con una inversión baja. Los materiales propuestos para todos los experimentos fueron: Ácido sulfúrico concentrado (98%), agua destilada (para dilución del electrolito), frascos de vidrio con tapa de vidrio (como contenedor), placas de plomo (forjadas de forma artesanal), telas sintéticas y materiales plásticos (poliéster / rayón / poliamida, fibra de vidrio de silicato principalmente y polipropileno como aislantes).

## Aspectos de Diseño

Al diseñar cada batería se buscó una tensión de por lo menos 12V (6 celdas), por ser estándar en dispositivos electrónicos; tras la revisión de diseño (Hawker Group, 1999b; Buchmann, I. 2011, IEEE, 2011) y la validación experimental se desarrollaron seis celdas, es decir alrededor de 2V por cada celda. Por otra parte, considerando contenedores de fabricación comercial y habiendo fijado las condiciones de obtener la máxima corriente posible se determinaron el espesor, dimensiones y cantidad de placas, resultando en una composición de ocho placas de 35mm por 50mm y un espesor entre 0.5 a 1 mm por cada celda. Siendo esta característica general para todas las variantes desarrolladas.

Los materiales más flexibles para establecer la experimentación fueron el aislante y el grado de dilución

del electrolito. Los cuatro tipos de aislantes seleccionados fueron: fibra de vidrio (de uso general), tela de fibras no tejidas de poliéster/rayón/poliamida (conocida como pellón, de uso textil), polipropileno en hojas de bolsas (empleado en embalaje de dispositivos electrónicos o delicados) y polipropileno en malla (empleado principalmente en mosquiteros). Las virtudes de estos materiales son su fácil adquisición, manejo y bajo costo. Según hojas técnicas de compatibilidad con el ácido sulfúrico (Jensen Inert Products, n/d; Inc Brenntag, 2005), la fibra de vidrio y el polipropileno resisten su contacto a cualquier concentración de ácido, dejando al poliéster como incompatible para su combinación. Dos diluciones fueron consideradas con base a la revisión de referencias (Proviser S.A. n.d.; Gomes Rivas, R. J. 2005; Planté and Faure, 1881), una al 30% y la segunda al 25% de ácido por porción de agua destilada.

## Construcción

Las placas propuestas requirieron volumétricamente de aproximadamente 800 gramos de plomo de desecho (restos de pesos para pesca, sellos, restos de baterías), considerando recortes y pérdidas en la fundición. La temperatura de fusión del plomo es de aproximadamente 330°C, lo que permite llevar a cabo el proceso con equipo simple de calentamiento. El proceso de fundición se realizó mediante la improvisación de un crisol cerámico de barro y un soplete de cartuchos de gas butano/propano (Fig. 3. a), vertiendo el material fundido en un perfil de aluminio para hacer una solera de una pulgada de ancho, media de espesor y aproximadamente un metro de largo.

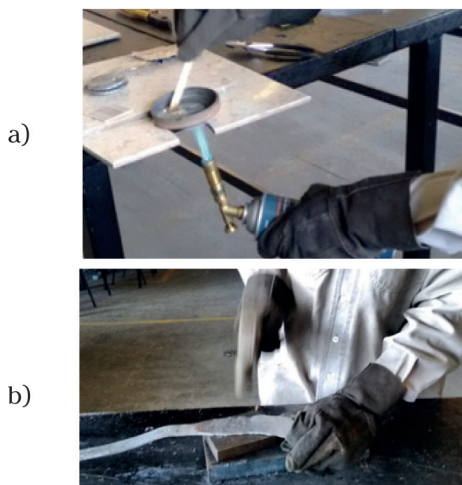


Fig. 3. a) Fundición de plomo en crisol cerámico para posteriormente formar una solera. b) Forjado de forma rústica de la solera obtenida para adelgazarla hasta obtener una lámina de plomo.

Posteriormente se forjó en frío con marro en una base de acero buscando hacer una lámina con un espesor de 0.5 a 1mm (Fig.3.b). La lámina de plomo fue cortada a las dimensiones calculadas para poder introducir la mayor cantidad de placas en los contenedores (frascos). Haciendo juegos de cuatro placas para el polo negativo y otras cuatro para el polo positivo por celda, se soldaron las placas a un riel de plomo haciendo uso de un caudín de electricista y soldadura compuesta estaño-plomo al 50% (Fig.4.a). Todo tomando en cuenta las medidas de seguridad para manejo de materiales a altas temperatura, tóxicos, así como evitar lesiones por contundencia mediante lentes de seguridad, mascarilla, camiseta y guantes de piel o látex según el caso.

Los juegos de placas se entremetieron por pares, empleando alguno de los aislantes propuestos (Fig.4.b) y se introdujeron a los contenedores, montando un par por contenedor y así en los 6 contenedores, ahora denominados celdas. A éstas les fue vertido algún porcentaje de dilución de ácido sulfúrico (Fig.5.a). En la experimentación se detalla cada aislante en combinación con las diluciones.

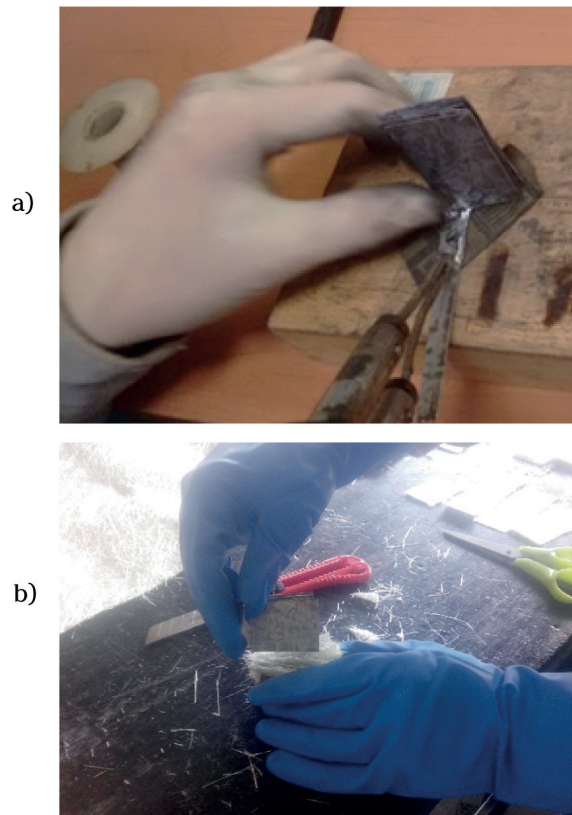


Fig. 4. a) Unión de placas mediante el uso de caudín y soldadura estaño/plomo, para formar juegos de cuatro placas. b) Armado de una celda, es decir, integración de dos juegos de placas y de aislante entre éstas.

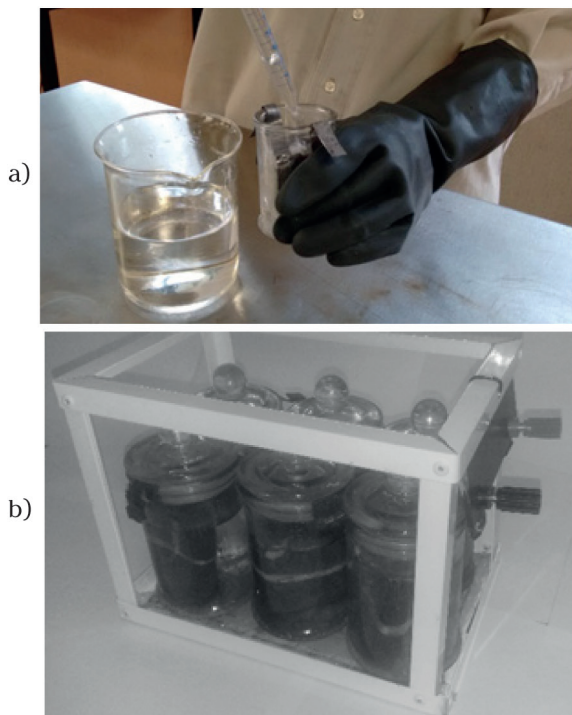


Fig. 5. a) Vaciado de dilución de ácido sulfúrico en celda. b) Batería ácido plomo de 6 celdas.

## Experimentación y resultados

Las baterías de tipo ácido plomo proporcionan de forma general alrededor de 2V de tensión por celda. Durante su carga se aplican entre 2.30V y 2.50V por celda, cuya variación entre estos límites proporciona un efecto distinto en el comportamiento de la batería. Debido a la propuesta de crear una batería de 6 celdas (Fig.5.b), en general para todos los experimentos la tensión de carga aplicada fue dentro del rango de 14.1 a 14.7V, buscando no inducir sólo el voltaje flotante ni de sobrecarga (Disosway, J. 1992; Beyn, E., 1983; Panasonic 2000).

En la primera experimentación se empleó fibra de vidrio como material aislante y una dilución de ácido sulfúrico al 25% v/v. Se aplicó corriente directa durante 24 horas, se desconectó y se verificó su carga; en la lectura se midió una tensión de 13V. Dicha tensión, en perspectiva es una medida adecuada, ya que la configuración diseñada debe de presentar entre 12V a 14V en reposo. Posteriormente se descargó y volvió a cargar en cuatro ciclos más. Sin embargo se observó, que ante la degradación del aislante provocó cortos circuitos internos en las celdas, obteniendo mediciones por debajo de 10V. En consecuencia, no se llevaron a cabo pruebas con otras diluciones de ácido.

La segunda experimentación fue diseñada empleando como aislante tela de fibra no tejida (poliéster / rayón / poliamida) conocida comúnmente como pellón. Previamente se dispuso de una dilución de 25% v/v de ácido para comprobar la resistencia de este material a esta concentración, manteniendo sumergida una pieza de tela durante 48 hrs, con resultados satisfactorios. Se realizaron correspondientemente las pruebas de carga y descarga durante casi cuatro semanas. La tensión medida en la mayoría de los casos superó los 13V, sin embargo, debido a la tensión eléctrica inducida, aunado a las reacciones químicas posteriores a la carga en las celdas, propiciaron la degradación de este aislante, volviendo a presentar corto circuito interno en las celdas.

En la tercera y cuarta experimentaciones fue utilizado polipropileno como aislante, por su alta compatibilidad con el ácido sulfúrico (Jensen Inert Products, n/d; Inc Brenntag. 2005), la degradación mínima debido a su compatibilidad lo propuso como una opción muy prometedora. En particular, la tercera experimentación se utilizó este polímero obtenido de reuso, proveniente del embalaje de equipo electrónico (dicho material específicamente suele encontrarse como envoltura o bolsa para amortiguar impactos en productos electrónicos diversos). Sin embargo, las características físicas del material dificultaron el contacto del electrolito con las placas. Se observó que, debido a que es como una especie de hoja sin algún tipo de trama u orificios que permitan el paso del electrolito, las placas se encontraron secas, impidiendo así la carga de la batería. La resistencia interna fue lo suficientemente alta, inclusive induciendo tensión durante 48 horas, no fue posible cargarla.

El preámbulo de la tercera experimentación impulsó a la búsqueda del mismo polímero en otras presentaciones. Se encontró en forma de malla (utilizada comúnmente como mosquitero). Posterior a la carga, las lecturas tomadas mostraron una tensión superior a los 13V. Desafortunadamente, la capacidad de retención de la carga fue pobre. Se sabe básicamente que cargar una batería ácido-plomo, es formar peróxido de plomo en las placas positivas; una forma de descargarla sucede cuando se pierde este recubrimiento. El uso de una malla tan burda en esta última, permitió que el peróxido formado en las celdas positivas se perdiera, yéndose al fondo del contenedor. Las lecturas realizadas mostraron que la auto-descarga era tal, que se tu-

vieron pérdidas de hasta 50% por cada hora de reposo. Fue posible hacer pruebas con este material aislante y con diluciones del 25% v/v y 30% v/v, para las cuales no se observó una diferencia de comportamiento.

## Discusión y conclusiones

El grado de auto-descarga de la batería depende de varios factores, en general de la disolución de ácido, del material utilizado como aislante, la calidad del plomo, de los contaminantes que puedan estar presentes en las celdas, de la pérdida del electrolito y la tendencia natural al equilibrio. En los experimentos realizados se obtuvo una pérdida de carga principalmente atribuible a los materiales aislantes, siendo éste crucial en desarrollos posteriores.

De las pruebas generadas podemos concluir: como aislante la tela pellón es el mejor elemento encontrado por lo que será necesario, realizar pruebas con diluciones de menor concentración, así como la búsqueda de un material con características similares, con la capacidad de resistir la degradación por un período de tiempo más largo. El costo de elaboración de las baterías realizadas en estos experimentos es cercano al de una batería comercial, sin embargo, se pueden reducir costos intercambiando contenedores de vidrio por plásticos y la adquisición de plomo mediante el acopio directo. El tiempo de vida obtenido en el mejor de los resultados, dependió básicamente de la concentración del ácido en conjunto con el aislante de poliéster. Las celdas de plomo se han reutilizado varias veces, únicamente limpiándolas y retirando el sulfato de plomo formado durante las pruebas fallidas.

Por lo que, actualmente se desarrolla una versión empleando un material con características similares a las de una esponja resistente al contacto con el ácido y otras diluciones de menor concentración.

Finalmente, se puede agregar que tras las experimentaciones realizadas se observó la flexibilidad de estas baterías para la separación de sus elementos cuando ha expirado su tiempo de vida. Esto da pauta a propuestas de reciclaje del 100% de sus componentes **T**

## Referencias

- Beyn, E. (1983, September). The 12 Volt Doctor's Practical Handbook for boat's electric system. SpaCreek. Annapolis Maryland. ISBN: 0-911551-07-7.
- Brenntag. (2005). Ácido Sulfúrico 98/99%. Retrieved October/November, 2015, from <http://www.ecosmep.com/cabecera/upload/fichas/2477.pdf>
- Buchmann, I. (2011, April) Batteries in a Portable World: A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers, Third Edition. ISBN-13: 978-0968211830
- Disosway, J. (1992, September). Comparison of Service Test Results With Analytical Predictions for a Lead-Acid Battery. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3.
- Gladstone, J. H., & Tribe, A. (2012). "The Chemistry of the Secondary Batteries of Plant and Faure". Nabu Press. ISBN: 1278540687, 9781278540689.

Tabla 1. Información comparativa de los experimentos realizados.

Comparativa carga/descarga																					
Experimento 1					Experimento 2					Experimento 3					Experimento 4						
CARGA			REPOSO		CARGA			REPOSO		CARGA			REPOSO		CARGA			REPOSO			
t hrs	V	I mA	t hrs	V	t hrs	V	I mA	t hrs	V	I mA	t hrs	V	I mA	t hrs	V	t hrs	V	I mA	t hrs	V	
1	24	15.65	10.0	24	13.00	24	14.40	5.00	48	12.60	50	24	14.50	0.70	2	5.00	24	14.50	0.67	16	8.80
2	8	14.60	7.0	16	12.90	8	14.50	5.00	24	12.10	50	8	14.60	0.50	1	4.00	8	14.55	0.46	16	9.20
3	8	14.65	11.0	16	12.70	8	14.50	4.00	24	12.20	50	8	15.70	0.40	1	2.00	8	14.50	0.62	16	10.70
4	12	14.70	19.0	16	10.00	8	14.50	4.00	16	12.20	-	48	15.65	0.40	1	2.00	8	14.50	0.50	1	10.10
5	12	15.04	-	1	8.00	8	14.50	4.00	16	12.30	50	-	-	-	-	-	8	14.55	0.25	1	4.95
6	-	-	-	-	-	8	14.60	3.00	24	12.20	50	-	-	-	-	-	8	14.50	0.25	1	3.00
7	-	-	-	-	-	8	14.60	3.00	24	12.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	8	14.45	0.50	16	11.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	8	14.50	0.70	16	10.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	8	14.50	9.00	1	8.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	8	14.45	10.00	1	5.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Gladstone, J.H.; Hibbert, W. (1890) Additional Notes on Secondary Batteries. Proceedings of the Physical Society of London, 11, 44.
- Gomes Rivas, R. J. (2005, April), Descripción del proceso de dilución de ácido, Automatización del sistema de dilución de ácido sulfúrico utilizado para la fabricación de baterías de uso automotor. Chap 5. P. 15. Universidad Simón Bolívar, Decanato de Estudios Profesionales, Coordinación de Electrónica y Circuitos.
- Hawker Group (1999a, July). Hawker Batteries Handbook, Standby Batteries Technical For Telecommunications. Julio 1999. Retrieved from [www.hawker-batteries.com](http://www.hawker-batteries.com)
- Hawker Group. (1999b, July) Hawker Batteries Handbook, Standby Batteries Technical Manual. Retrieved from [www.hawker-batteries.com](http://www.hawker-batteries.com)
- Hernández Valdés, G., & Linares Mosquera, I. R. (2007). Baterías de ácido-plomo utilizadas en las centrales telefónicas. (Spanish). Tono: Revista Técnica De La Empresa De Telecomunicaciones De Cuba, S.A, (3), 116-121.
- IEEE (2011). IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications, IEEE Std 485-2010.
- Jensen Inert Products, Inc. (n.d.). Chemical Resistance Chart. Retrieved October/November, 2015, from [http://www.vp-scientific.com/Chemical\\_Resistance\\_Chart.htm](http://www.vp-scientific.com/Chemical_Resistance_Chart.htm)
- Johnson, D. A., & Open, U. (2002). Case Study Batteries and Fuel Cells, Metals and Chemical Change. Cambridge: Royal Society of Chemistry. Chap 5.2 p.250. ISBN: 9780854046652. 9781847557919.
- Linden, D. & Reddy, T. B. (2002). Handbook of batteries. McGraw-Hill. Chap.23. ISBN-13: 978-0071624213.
- Miller, C. (2009). Lead-Acid Batteries. Waste Age, 40(4), 42.
- Panasonic (2000, January). Sealed Lead-Acid Batteries Technical Handbook 2000. Matsushita Battery Industrial Co. From [www.battery-service.de/bleiakku.pdf](http://www.battery-service.de/bleiakku.pdf)
- Perrin, M., Saint-Drenan, Y.M., Mattera, F., Malbranche, P. (2005) Lead-acid batteries in stationary applications: competitors and new markets for large penetration of renewable energies. Journal of Power Sources 144(2005) 402-410. Elsevier.
- Planté and Faure (1881). Planté and Faure Batteries. Science, 2(57), 359-360. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2901006>
- Proviser S.A. (n.d.) Manual de especificaciones, Especificaciones de Productos Elaborados. Doc. ES-2-4103. From [www.proviser.com.ar/pdf/qp/ES-2-Acido+Sulfurico+33.pdf](http://www.proviser.com.ar/pdf/qp/ES-2-Acido+Sulfurico+33.pdf)
- Randall-Reilly Publishing Co. (Ed.). (2011, September). Deep cycle or dual-purpose batteries. Overdrive, 51(9), 74.
- Reed Business Information Australia (Ed.). (2008, June). Industrial deep cycle batteries. Manufacturers' Monthly, 59.