



Fuentes de poder recargables para dispositivos de monitoreo fisiológico portátiles: revisión de diseños disponibles

Monografía vinculada a la conferencia del Ing. Sytse Kuijk y Susana Blanco sobre "WE CARE", sistema de monitoreo doméstico para personas mayores del 10 de mayo de 2011.

Sebastián Alpuy

Núcleo de Ingeniería Biomédica - Facultades de Medicina e Ingeniería - Universidad de la República, Uruguay

Email: Sebastián Alpuy - alpuy[en]ieeee[.]org;

Resumen

Se presentan y analizan las distintas fuentes de poder recargables disponibles en el mercado comenzando por las más comunes como son las de plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-metal hidruro, la de iones de litio y la de polímero de iones de litio.

Mediante una tabla se comparan las diferentes características de las fuentes recargables y también se presenta un ejemplo de selección de fuente de poder para un dispositivo médico OEM.

1. Introducción

Los primeros descubrimientos importantes en materia de electricidad así como los primeros usos prácticos fueron quizá en los inicios del siglo XVII aunque no hay una fecha exacta para definir este acontecimiento. De hecho, han habido observaciones en materia de electricidad incluso varios milenios antes de cristo.

En el año 1936 mientras se estaba construyendo una vía férrea cerca de la ciudad de Bagdad, los trabajadores encontraron un objeto antiguo que se trataba de una batería luego denominada "Batería de Bagdad". El objeto era una jarra de arcilla llena de vinagre en la que se metía un cilindro de cobre con una barra de hierro en su interior, esta batería producía entre 1.1 y 2.0 volts y se piensa que se usaba para enchapar metales utilizando electricidad.

En 1800 Volta inventó la primer celda voltaica también llamada batería, así mismo descubrió que se podía incrementar el voltaje obtenido por una celda poniendo varias celdas en serie.

En 1859 el físico francés Gaston Planté inventó la primer batería recargable, se trataba de una batería de plomo-ácido, tal como las usadas actualmente en los automóviles. En 1899 el sueco Waldmar Jungner inventó la batería de níquel-cadmio (NiCd) formada por un cátodo de níquel y un ánodo de cadmio. Este tipo de batería fue y sigue siendo utilizada en dispositivos portables. Luego se inventó la batería de níquel-metal hidruro (NiMH) que es mucho menos contaminante con el ambiente que la de NiCd. Por último surgieron

las baterías de iones de litio (Li-ion) que no contaminan el ambiente y son utilizadas en un gran número de equipos.

Las baterías recargables son más amigables con el ambiente que las baterías comunes, esto se debe a que dado que en general las baterías recargables tienen un gran número de ciclos de carga antes de volverse inutilizables (cientos a miles), el deshecho de las mismas se hace menos frecuentemente.

2. Tecnologías

Tal como se mencionó anteriormente, existen diversos tipos de baterías recargables tales como la batería de plomo-ácido, NiCd, NiMH y la de Li-ion entre otras. A continuación se describirán las características básicas de estos tipos de baterías así como su aplicación en equipos portables de uso médico.

2.1. Conceptos preliminares

Para comparar los distintos tipos de fuente de poder es necesario conocer algunos parámetros de las mismas. A continuación se presenta el significado de cada uno de los parámetros a tener en cuenta.

Energía específica - Se define como energía por unidad de masa y se mide en J/kg o Wh/kg donde $1Wh$ son $3600J$.

Densidad de energía - Es una medida de la cantidad de energía almacenada por unidad de volumen y se mide en J/l o Wh/l .

Potencia específica - Es la potencia que puede entregar una batería por unidad de masa, la batería podría entregar más potencia pero esto conlleva a que la energía entregada a la carga es menor en el momento de alcanzar el voltaje de corte inferior, en la figura 1¹ se puede observar este fenómeno. Se mide en W/kg .

Eficiencia de carga y descarga - La eficiencia de carga es el porcentaje de la energía entregada que queda almacenada y no se pierde por ejemplo en forma de calor. La eficiencia de descarga es el porcentaje de energía que llega a destino proveniente de la batería, el resto se pierde.

Auto-descarga - Es la cantidad de energía que se pierde en un cierto periodo de tiempo estando la batería desconectada. Se mide en $\%/mes$.

Ciclos de duración - Es la cantidad de ciclos de carga y descarga a los que se puede someter una batería antes de volverse obsoleta.

Voltaje nominal de la celda - Es el voltaje que provee la unidad básica de una batería.

2.2. Plomo-ácido

La batería de plomo-ácido inventada en el año 1859 es el tipo más antiguo de batería recargable. Comparada con otros tipos de baterías, tiene poca cantidad de energía por unidad de masa y volumen, pero puede entregar grandes cantidades de corriente lo que significa que tiene una alta relación potencia-masa. Este tipo de batería es poco utilizada en dispositivos portables dada su poca cantidad de energía por unidad de masa lo que las hace muy masivas para su uso.

En el ámbito de los equipos médicos, este tipo de baterías se utiliza en dispositivos como electrocardiógrafos y en algún otro dispositivo de hospital pero no se utilizan en equipos que deben colocarse en una

¹Figura 6.3 de "Handbook of batteries, third edition"

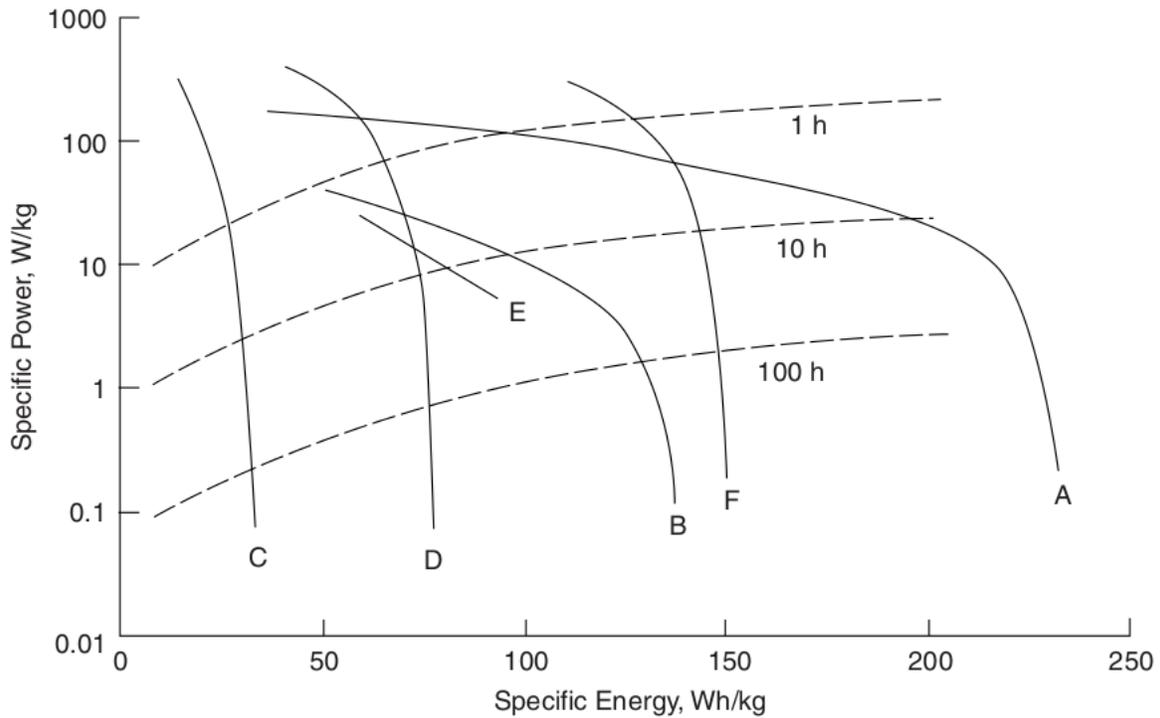


Figura 1: Energía específica vs potencia específica. Los tipos de batería son (A)Li/MnO₂, (B)Zn/alcalina/MnO₂, (C)Ni-Cd, (D)Ni-MH, (E)Zn/alcalina/MnO₂ sec., (F)Li-ion.

persona, por lo tanto queda fuera de la mira de esta monografía pero igualmente se presenta para comparar con los otros tipos de batería y además no se descarta que alguien quiera utilizar este tipo de batería para un proyecto propio.

En la tabla 1, se pueden ver algunas características importantes de las baterías de plomo-ácido².

Característica	Valor
Energía específica	30-40 Wh/kg
Densidad de energía	60-75 Wh/l
Potencia específica	180 W/kg
Eficiencia de carga/descarga	50%-90%
Auto-descarga	3%-20%/ month
Ciclos de duración	500-800 ciclos
Voltaje nominal de la celda	2.105V

Tabla 1: Batería de plomo-ácido.

2.2.1. Ventajas y desventajas

A continuación se detallan algunas ventajas.

- Son las baterías recargables más baratas.

²Datos extraídos de http://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid_battery

- Tiene muy baja auto-descarga.
- Requiere poco mantenimiento.

Dentro de las desventajas más importantes se encuentran las siguientes:

- Su baja densidad de energía las hace inútiles para aplicaciones portables.
- No son amigables con el medio ambiente.
- No pueden ser guardadas sin carga.

2.3. Níquel-cadmio

La batería de Níquel-cadmio, también llamada NiCd, fue inventada en el año 1899 por el ingeniero sueco Waldemar Jungner.

Este tipo de batería puede utilizarse como sustituto de baterías primarias aunque hay que tener en cuenta que el voltaje de cada celda es de 1.2V y tiene menos capacidad, sin embargo puede entregar grandes cantidades de corriente en un periodo corto de tiempo por lo su uso es preferido en aplicaciones que consumen mucha potencia en el arranque.

En la tabla 2, se pueden ver algunas características importantes de las baterías de níquel-cadmio³.

Característica	Valor
Energía específica	40-60 Wh/kg
Densidad de energía	50-150 Wh/l
Potencia específica	150 W/kg
Eficiencia de carga/descarga	70 %-90 %
Auto-descarga	10 %/ month
Ciclos de duración	2000 ciclos
Voltaje nominal de la celda	1.2V

Tabla 2: Batería de níquel-cadmio.

2.3.1. Ventajas y desventajas

A continuación se detallan algunas ventajas que presenta la batería de níquel-cadmio.

- Son muy resistentes al mal uso, a diferencia de las baterías de Li-ion se pueden descargar completamente sin dañarse.
- En general poseen mayor durabilidad que el resto de las baterías recargables en lo que a ciclos de carga y descarga se refiere.
- Las baterías de Ni-Cd poseen más energía por unidad de volumen que las de plomo-ácido pero son más caras que estas últimas.
- A pesar de que la corriente sea alta, estas baterías entregarán su capacidad nominal. Esto es evidente en la figura 1 donde la curva C es prácticamente vertical comparada con las otras.
- Poseen menos auto-descarga que las baterías de NiMH.

La desventaja principal de las baterías NiCd es que son muy dañinas para el medio ambiente dado que metal Cadmio empleado en su construcción es nocivo para la salud de los animales. Otra desventaja es el efecto memoria, este tipo de batería pierde la capacidad máxima de carga cuando no es descargada completamente antes de ser cargada.

³Datos extraídos de http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_cadmium_battery

2.4. Níquel-metal hidruro

Las baterías de NiMH fueron inventadas en el año 1967 en el “ Battelle-Geneva Research Center” y aparecieron en el mercado en el año 1989.

A diferencia de su hermana, la batería de NiCd, la de NiMH posee más del doble de capacidad. Comparada con la batería de Li-ion, tiene igual densidad de energía pero mayor auto-descarga. La capacidad nominal de una celda de 1.2V varía entre 1100 mAh y 3100 mAh.

En la tabla 3, se pueden ver algunas características importantes de las baterías de níquel-metal hidruro⁴.

Característica	Valor
Energía epecífica	30-100 Wh/kg
Densidad de energía	140-300 Wh/l
Potencia específica	250-1000 W/kg
Eficiencia de carga/descarga	66 %
Auto-descarga	30 %/ month
Ciclos de duración	500-1000 ciclos
Voltaje nominal de la celda	1.2V

Tabla 3: Batería de níquel-metal hidruro.

2.4.1. Ventajas y desventajas

A continuación se detallan algunas ventajas:

- Son baratas y su performance es similar al de las pilas alcalinas.
- Debido a su baja resistencia interna, son útiles en aplicaciones que requieren mucha corriente.

Como desventaja se puede notar que tiene menor energía específica que la batería de Li-ion pero es mucho más barata.

2.5. Iones de litio

Los estudios en la utilización del litio como cátodo en baterías comenzó en el año 1912 por el fisicoquímico Gilbert Newton Lewis, no fue hasta 1991 que se comenzaron a comercializar las primeras baterías de Li-ion recargables.

Las baterías de de Li-ion forman una familia de baterías recargables en que cada miembro se diferencia del otro en pequeñas variaciones del material utilizado para fabricar el ánodo y el cátodo. Este tipo de batería es muy popular en dispositivos electrónicos portátiles y son uno de los mejores tipos de batería secundaria dado que tienen gran densidad de energía, no tienen efecto de memoria y tienen poca auto-descarga.

En la tabla 4, se pueden ver algunas características importantes de las baterías de Ion-litio⁵.

2.5.1. Ventajas y desventajas

A continuación se listan algunas de las ventajas de la batería de ion-litio:

- Existen en gran variedad de tamaño lo que la hace útil en todo tipo de aplicación.
- Muy liviana comparada con otras baterías recargables.
- Tiene alto voltaje sin carga por lo que se puede entregar mucha potencia con menos corriente.

⁴Datos extraídos de http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-metal_hydride_battery

⁵Datos extraídos de http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_battery

Característica	Valor
Energía específica	100-250 Wh/kg
Densidad de energía	250-620 Wh/l
Potencia específica	250-340 W/kg
Eficiencia de carga/descarga	80 %-90 %
Auto-descarga	8 %/ month @ 21°C
Ciclos de duración	400-1200 ciclos
Voltaje nominal de la celda	3.6V/3.7V

Tabla 4: Batería de Ion-litio.

- Son amigables con el ambiente, no tienen efecto de memoria y la auto-descarga es baja.

Desventajas:

- Con el tiempo se requiere más tiempo para cargar la batería.
- La resistencia interna aumenta con el tiempo y es mayor que otras baterías recargables.

2.6. Polímero de iones de litio

Las baterías LiPo descienden directamente de las baterías Li-ion y tienen como ventajas frente a estas el potencial bajo costo de fabricación y se pueden fabricar en distintos tipos de formas y tamaños. Este tipo de batería salió en el mercado en el año 1996.

En la tabla 5, se pueden ver algunas características importantes de las baterías de Polímero de iones de litio⁶.

Característica	Valor
Energía específica	130-200 Wh/kg
Densidad de energía	300 Wh/l
Potencia específica	7100 W/kg
Eficiencia de carga/descarga	99.8 %
Auto-descarga	5 %/ month @ 21°C
Ciclos de duración	>1000 ciclos
Voltaje nominal de la celda	3.7V

Tabla 5: Batería de Polímero de iones de litio.

2.6.1. Ventajas y desventajas

A continuación se presentan algunas ventajas de las baterías LiPo:

- Se pueden crear baterías muy finas, por ejemplo del grosor de una tarjeta de crédito.
- Se pueden fabricar de cualquier forma.
- Más resistente a sobrecargas

Desventajas:

⁶Datos extraídos de http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_polymer_battery

- Comparado con las baterías de Li-ion, soportan menos ciclos de carga y poseen menor densidad de energía.
- Pueden ser peligrosas ya que si se pinchan, producen humo y fuego.

3. Baterías recargables en aplicaciones de monitoreo fisiológico portable OEM

En esta sección se presenta un ejemplo de dispositivo médico OEM y la elección de la fuente de alimentación correcta. La elección de la fuente correcta puede no ser única y depender de cada diseño en particular.

3.1. NIBP2000

El NIBP es un módulo OEM no invasivo para la medición de la presión arterial. En la figura 2 se puede apreciar este módulo.

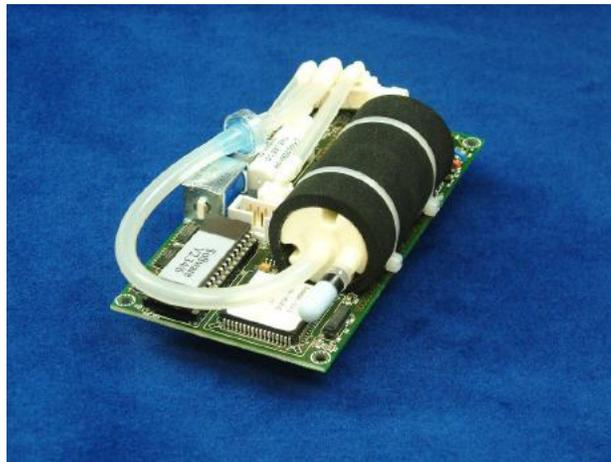


Figura 2: Medidor de presión NIBP2000.

Este módulo opera con una tensión de $7V \pm 15\%$ (entre $5,95V$ y $8,05V$) y consume una potencia de $3,5W$ o $0,35W$ si está midiendo o en standby respectivamente.

Con seis celdas de NiCd o NiMH se logra un voltaje de $7,2V$, y con dos celdas de Li-ion o LiPo se logran $7,4V$. La batería de plomo-ácido queda descartada por motivos de peso y tamaño.

Suponiendo que se mide la presión tres veces por minuto y que cada medida toma un minuto, se consume $1,83KJ/h$. Si se desea una autonomía de doce horas, se consumen $22KJ$ de energía por lo que a un voltaje de $7V$ se necesitan baterías de $870mAh$ o más.

En la figura 3.1 se pueden ver cuatro posibles opciones para funcionar como fuente de poder del módulo anterior.

La figura 3(a) corresponde a una batería NiCd formada por celdas de la marca SANYO, de $7,2V$, $1100mAh$, dimensiones L: $8,5cm$, A: $5,23cm$ y P: $1,47cm$, $140g$ de masa y un precio de $U\$S20,5$.

En la figura 3(b) se puede ver una batería NiMH de $7,2V$, $1100mAh$, dimensiones L: $6,5mm$, A: $4,6cm$ y P: $1,7cm$, y un precio de $U\$S30$. En la figura 3(c) se encuentra una batería de ion-litio de $7,4V$, $2200mAh$, dimensiones L: $6,8cm$, A: $3,7cm$ y P: $1,78cm$, $100g$ de masa y un precio de $U\$S22,49$.

Por último en la figura 3(d) se puede ver una batería de LiPo de $7,4V$, $900mAh$, dimensiones L: $6,9cm$, A: $2,7cm$ y P: $1,35cm$, $45,4g$ de masa y un precio de $U\$S18,95$.



(a) Níquel-cadmio.



(b) Níquel-metal hidruro.



(c) Ion-litio.



(d) Polímero de Ion-litio.

Figura 3: Baterías a utilizar (a), (b), (c) y (d)

Es importante notar la presencia de baterías de distintos tipos, tamaños, pesos y capacidades para solucionar un problema por lo que es tarea del diseñador elegir la indicada. Los precios no sirven en este caso como argumento para comparar dado que son baterías de distintas marcas ,vendedores y países.

4. Conclusiones

A la hora de realizar un proyecto en que se utilicen módulos médicos OEM o cualquier otro dispositivo que haga uso de una batería es necesario tener en cuenta las distintas posibilidades que hay en el mercado que varían según su precio, tamaño, formas, voltaje, capacidad, etc.

Referencias

1. D. Linden, T. Reddy, *Handbook of Batteries*, McGraw Hill, 2004.
2. *Wikipedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery.
3. *Wikipedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/Lead_acid_battery.
4. *Wikipedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_cadmium_battery.
5. *Wikipedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_metal_hydride_battery.
6. *Wikipedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_polymer_battery.
7. *Wikipedia*, http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_battery.
8. *Battery University*, <http://batteryuniversity.com/>.