

Cargador de Baterías Universal

Autor: Felixls

Blog: <http://sergiols.blogspot.com/>

Versión: 1.0

Versión de Firmware: 1.1

Colaboradores del proyecto

Especial agradecimiento a los siguiente usuarios del foro de ucontrol (www.ucontrol.com.ar): Geronimox, El fluf , Islagrande, HJ, Ariel, Gabriel, xesc0, Luis F y muchos más por su interés y aliento para terminarlo.

Características

- **Soporta baterías Pb, SLA, NiCd, NiMH, Li-Ion y LiPo.**
- **Firmware escrito en C del compilador SDCC 2.9.0.**
- **Administrador multiplataforma escrito en java.**
- **Permite la carga, descarga y ciclado utilizando diferentes sensores de corte.**
- **Implementa algoritmos refinados para optimizar la vida útil de las baterías.**
- **Mediciones de alta precisión.**
- **Conección serial.**
- **Memoria EEPROM opcional.**
- **Menu de operación completo.**
- **Bajo costo**

Resumen

El cargador de baterías descrito en este documento cumple con todas las recomendaciones actuales en diseño de cargadores de baterías. Este cargador puede cargar en forma lenta, media o rápida todos los tipos de baterías más populares sin modificaciones de hardware o firmware.



Introducción

La mejora continua en tecnología de baterías requiere cada vez más sofisticados algoritmos de carga para asegurar una carga rápida y segura. Un monitoreo preciso del proceso de carga es necesario para minimizar el tiempo de carga y utilizar la máxima capacidad de la batería sin causar daño a las mismas.

Conceptos básicos

La carga de una batería se hace posible por una reacción química reversible que restaura la energía en un sistema químico. De acuerdo al químico usado, la batería tendrá determinadas características. Cuando se diseña un cargador, es necesario poseer un detallado conocimiento de estas características para evitar el daño causado por una sobrecarga.

Datos de diseño

Lenguaje de programación	C del compilador SDCC, versión 2.9.0
Tamaño del código	14 kbytes
Frecuencia PWM	16khz, 10bits de resolución
Medición de corriente	Amplificadores operacionales
Clock	Cristal externo de 20mhz
Comunicación con PC	Serie
Memoria	EERPOM 256kbits opcional (uso no incluido en firmware actual)

Tecnologías de baterías

Los aparatos electrónicos modernos utilizan, principalmente, cuatro diferentes tipos de baterías recargables:

- Ácido de plomo (Pb / SLA)
- Níquel-cadmio (NiCd)
- Níquel-hidruro metálico (NiMH)
- Iones de litio (Li-Ion)
- Polímero de litio (Li-Poli)

Es importante tener cierta información de base en este tipo de baterías para elegir la batería correcta y el algoritmo de carga para su uso.

Ácido de plomo (Pb / SLA)

Las baterías de ácido de plomo se usan en muchas aplicaciones donde el costo es más importante que el espacio y el peso, ejemplo típico son las baterías de backup para UPS y las alarmas. Las baterías SLA se cargan usando voltaje constante, con una limitación de corriente para evitar el sobrecalentamiento en la etapa inicial del proceso de carga. Este tipo de baterías se las puede cargar indefinidamente, mientras que el voltaje de la celda nunca exceda las especificaciones del fabricante (normalmente 2.2V).

Níquel-cadmio (NiCd)

Las baterías níquel-cadmio son relativamente baratas, pueden ser cargadas completamente unas 1000 veces. Tienen una tasa muy alta de auto descarga. Las NiCd se dañan por inversión, si la primer celda se descarga completamente, el paquete de baterías se invierte. Para evitar el daño la descarga del paquete de baterías el voltaje debe ser monitoreado constantemente y la aplicación debe apagarse cuando el voltaje de la celda caiga por debajo de 1V. Las baterías NiCd se cargan con corriente constante.

Níquel-hidruro metálico (NiMH)

Las baterías de níquel-hidruro metálico son muy usadas en aplicaciones portables de bajo peso. Tienen una más alta densidad de energía que las NiCd. Las baterías NiMH se dañan por sobrecarga. Es importante la precisión de las lecturas para terminar la carga en el momento exacto. Así como las NiCd, las NiMH se dañan por inversión. Estas baterías tienen una tasa de auto descarga de aproximadamente 20% por mes. Como las baterías NiCd, las baterías NiMH se cargan con corriente constante.

Iones de litio y polímero de litio (Li-Ion y Li-Poli)

Las baterías Li-Ion tienen una relación energía/peso y energía/espacio muy alta en comparación con otros tipos de baterías. Las baterías Li-Ion se cargan usando voltaje constante, con una limitación de corriente para evitar el sobrecalentamiento en la etapa inicial del proceso de carga. La carga se termina cuando la corriente cae debajo de la corriente límite inferior establecida por el fabricante. Estas baterías se dañan por sobrecarga y pueden explotar al ser sobrecargadas.

Carga segura de baterías

Los cargadores rápidos modernos (por ejemplo aquellos que cargan en menos de 3 horas, normalmente en una hora) requieren mediciones precisas del voltaje de celda, corriente de carga y temperatura de baterías para lograr la carga completa de la batería sin sobrecargarlas o dañarlas.

Métodos de carga

Las baterías SLA, Li-Ion y Li-Po se cargan por voltaje constante (y limitado en corriente) y las NiCd y NiMH se cargan con corriente constante y tienen diferentes métodos de terminación.

Máxima corriente de carga

La máxima corriente de carga depende de la capacidad de la batería ©. La máxima corriente de carga se da normalmente en cantidades de la capacidad de la batería, por ejemplo, una batería con una celda de capacidad 750mAh cargada con una corriente de carga de 750mA se dice que fue cargada a 1C (una vez la capacidad de la batería). Si la corriente de carga para la carga flotante se establece en C/40 la corriente de carga es la capacidad de la celda dividida por 40.

Sobrecalentamiento

Por la transferencia de energía eléctrica a una batería, esta se carga. Esta energía se almacena en un proceso químico. Pero no toda la energía eléctrica aplicada a la batería se transforma dentro de la batería como energía química. Algo de la energía eléctrica termina como energía calórica, calentando la batería. Cuando la batería se carga completamente toda la energía eléctrica fue aplicada a la batería termina como energía calórica. En una carga rápida esto causará un rápido calentamiento de la batería, causándole daño si la carga no se termina. Monitorear la temperatura para terminar la carga es un factor importante en un buen diseño de un cargador de baterías.

Métodos de terminación

La hoja de datos de la batería sugiere métodos de terminación a usar. El uso y el entorno donde la batería se usa establece las limitaciones en la elección del método de terminación. Algunas veces puede ser poco práctico medir la temperatura de la batería y más fácil la medición del voltaje, o cualquier otra forma. Este diseño implementa el uso de la caída de voltaje ($-dV/dt$) como el principal método de terminación, además por temperatura y voltaje como resguardo.

Soporta además todos estos otros métodos:

t – Tiempo

Este es uno de los métodos más simples para medir cuando terminar la carga. Normalmente usado como terminación de resguardo en carga rápida y como principal método en una carga normal. Aplica a todas las baterías.

V – Voltaje

La carga se termina cuando el voltaje excede un límite. Usado en combinación con corriente constante de carga. La corriente máxima está determinada por la batería, normalmente 1C como fue descrito anteriormente. La limitación de corriente es crucial para evitar el daño por calor a la batería si la corriente es muy alta. Las baterías SLA son normalmente cargadas indefinidamente al establecer un voltaje máximo por debajo del voltaje actual de carga. Es usado como principal método de algoritmo y terminación.

-dV/dt – Caída de voltaje

Este método utiliza la derivada negativa del voltaje en un intervalo de tiempo. Se usa normalmente en carga a corriente constante. Aplica a baterías NiCd y NiMH.

I – Corriente

La carga se termina cuando la corriente de carga cae debajo del valor prefijado. Se usa normalmente en carga a voltaje constante. Aplica a baterías SLA, Li-Ion y Li-Po para terminar la segunda fase de carga, normalmente posterior a la fase de carga rápida.

T - Temperatura

La temperatura absoluta se puede usar como terminación (para NiCd y NiMH), pero solo como una terminación de resguardo. La carga de todas las baterías debería terminar si la temperatura supera el límite superior de operación establecido por el fabricante. Además se usa como método de resguardo para cancelar la carga si el voltaje cae debajo de la temperatura segura. Aplica a todas las baterías.

dT/dt – Pico de temperatura

La derivada de la temperatura en un intervalo de tiempo se puede usar como método de terminación en una carga rápida. De acuerdo a las especificaciones del fabricante (normalmente 1grado C/minuto para baterías NiCd). Aplica a NiCd y NiMH.

DT – Temperatura sobre la temperatura ambiente

Termina la carga cuando la diferencia entre la temperatura ambiente y la batería se eleva por arriba de un valor prefijado. Aplica a baterías NiCd y SLA como principal método o de resguardo.

Implementación del Hardware

Etapas de alimentación

El voltaje de entrada (de 11 a 24v) se regula a través de los reguladores de voltaje 7805 y 7812. El 7805 entrega 5v al microcontrolador. El 7812 entrega 12v al motor para ventilación forzada de la parte de potencia.

Etapas de potencia

Formado por dos mosfet, uno de carga y el otro para descarga el diseño permite manejar corrientes de hasta 5A con un rango de voltaje entre 3 a 20v.

Entradas

Cuatro pulsadores para el manejo de la unidad.

Salidas

Buzzer para indicaciones audibles de terminación y uso de pulsadores.
LCD con manejo del backlight
Led rojo de operación en curso.
Led amarillo para indicar operación terminada.

Interfaz con PC

Conectado a la interfaz UART se puede conectar a la PC para registrar los datos de batería durante la carga. Los datos se muestran en diferentes gráficos y pueden ser exportados a planillas de cálculo para su análisis y/o almacenamiento.
El software funciona en la mayoría de los diferentes sistemas operativos.

Memoria EEPROM (opcional)

Puede servir para almacenar los diferentes ciclos de carga/descarga de una batería sin el uso de una PC.
No implementado en firmware.

ISCP

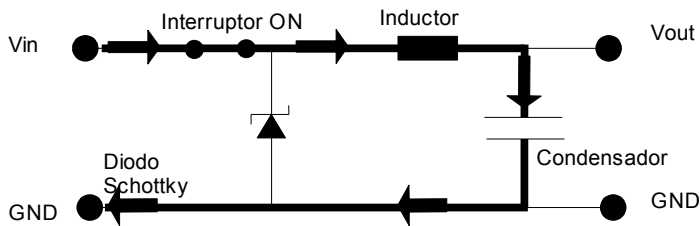
Permite la reprogramación del microcontrolador desde una PC mediante un programador compatible.

Buck Converter de 16khz

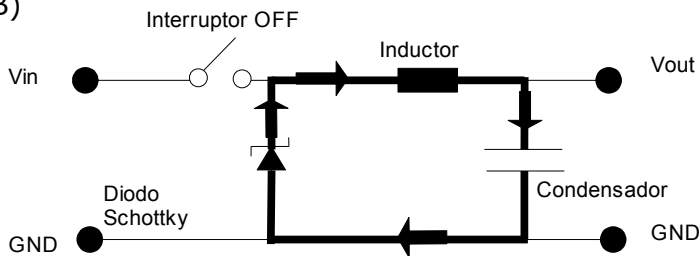
El buck converter consiste de un transistor MOSFET canal P manejado por el PIC via un transistor bipolar NPN. El MOSFET se conecta a un inductor, un diodo y un condensador (ver figura 1). Un diodo adicional previene al microcontrolador del voltaje de la batería cuando fuente de alimentación se desconecta. Cuando el MOSFET está en ON (ilustrado en la figura por el interruptor cerrado) la corriente fluirá como se muestra en la figura 1A. El condensador se carga de la entrada via el inductor (el cual también se carga). Cuando el interruptor se abre (figura 1B) el inductor tratará de mantener su flujo de corriente por inducción de voltaje. La corriente fluirá a través del diodo y el inductor cargará al condensador. Entonces el ciclo se repite. Si el ciclo útil se baja, por poco tiempo en ON, y un mucho tiempo en OFF, el voltaje disminuirá. Si el ciclo útil se incrementa (mucho tiempo en ON, y poco en OFF) el voltaje aumentará. Un buck converter es más eficiente corriendo con un ciclo util de 50%.

Figura 1: Principio de un buck converter

A)

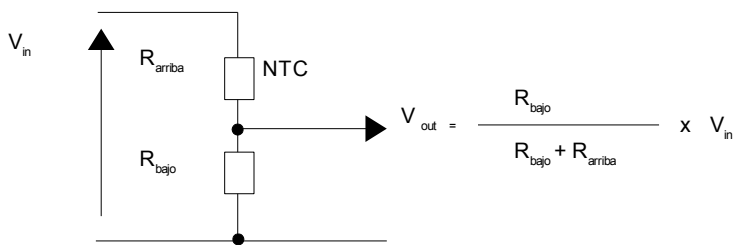


B)



Temperatura de batería

La temperatura se mide por una resistencia de coeficiente negativo (NTC). Tiene aproximadamente un valor de resistencia de 10kΩ a 25°C. El NTC es parte de un divisor de voltaje, el cual se alimenta del voltaje de referencia (5V).



La resolución respecto al voltaje medido a través del NTC es:

$$5V / 1024 \text{ pasos} = 4.88\text{mV} / \text{paso}.$$

El NTC usado a 25 grados mide 10k, reemplazando este valor en Rarriba:

$$V_{out} = (480\Omega / (480\Omega + 10000\Omega)) * 5000\text{mv} = 229.008\text{mv}$$

En pasos de ADC:

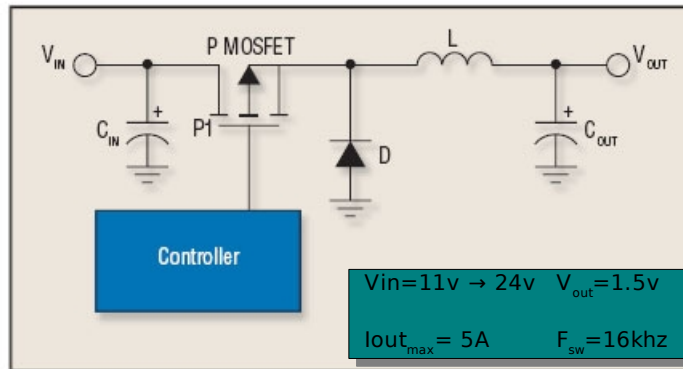
$$N = V_{out} / (\text{mv/paso}) = 229.008 / 4.88 = 46.9$$

Luego, 25 grados / N pasos = 0.533, utilizando este valor para determinar la temperatura es

un método muy básico ya que la resistencia NTC no sigue una curva lineal pero para los fines prácticos aplica.

Teoría de diseño

Se describe a continuación la teoría específica del diseño del cargador de baterías.



El cálculo del inductor sale de la siguiente fórmula:

$$L = (V_{inmax} - V_{out}) * (V_{out}/V_{inmax}) * (1 / f_{sw}) * (1 / (LIR * I_{outmax}))$$

El LIR para un ripple de 70ma p-p con una corriente de 1A, es igual a

$$LIR = 0.07 / 1 = 0.07$$

Luego L es:

$$L = (24 - 1.5) * (1.5/24) * (1/16000) * (1 / (0.07 * 5)) = 468.75 \mu H$$

Para el cálculo del condensador se debe tener en cuenta las caídas de voltaje y el ripple presente en la salida del conversor. Caídas grandes y altos ripples son causa de baja capacitancia de salida. Un condensador de 1000uF ofrece un rendimiento de compromiso entre eficiencia y tamaño en el montaje.

$$C_{out} = 1000\mu F.$$

C_{in} se estable en 470uF.

D se elige el modelo SB5100 o similar que soporte 5A de corriente.

Como MOSFET canal P se usa el IRF9530 que soporta corrientes de hasta 12A constantes.

Circuitos de medición

Voltaje de batería

El voltaje de carga se monitorea usando un divisor de voltaje para medir la diferencia de voltaje entre el polo positivo y negativo de la batería. Para obtener una medición acorde en el rango del cargador (3v a 20v de voltaje de carga), se eligen los valores adecuados de las resistencias. Cuando el voltaje supera el voltaje de referencia (5V), el voltaje se divide con dos resistencias para ubicar la lectura en el rango de (0-5v).

$$R1 = 18k\Omega$$

$$R2 = 56k\Omega$$

$$V_p = R1 / (R1 + R2)$$

$$V_p = 0.2432$$

$$5V / 1024 \text{ pasos} = 4.88mV / \text{paso.}$$

$$N = 4.88 / 0.2432 = 20.07 \text{ mv/paso.}$$

Este valor de N nos da el límite superior de lectura del cargador:

$$V_{\text{maxbat}} = 20.07 * 1024 \text{ pasos} = 20555.56 \text{ mv} = 20.5v.-$$

Corriente de carga

La corriente de carga se mide por el sensado del voltaje sobre una resistencia shunt de 0.1Ω . Este voltaje se amplifica usando un amplificador operacional - configurado como no inversor para la carga e inversor para la medición de la descarga - para mejorar la precisión de la medición antes de alimentar el conversor A/D del microcontrolador.

Este voltaje se amplifica por el factor:

$$R1 = 3.3k\Omega$$

$$R2 = 19k\Omega$$

Factor de amplificación

$$A_f = 1 + (R2/R1) = 6.76$$

La salida de voltaje del amplificador es:

$$V_{\text{ibat}} = (1 + (R2/R1)) * I_{\text{shunt}} = 6.76 I_{\text{shunt}}$$

La máxima corriente que puede medirse es:

$$I_{\text{bat}} = 4.88 / 6.76 I_{\text{shunt}} = 7.2257 \text{ A}$$

Esto nos da una resolución de:

$$7226 \text{ mA} / 1024 \text{ pasos} = 7.06 \text{ mA/paso}$$

Descripción de los métodos de carga

1. Carga de corriente rápida: 1CmA (temperatura de carga rápida: 0 C a 40 C). Para lograr controlar y detener la carga rápida, se recomienda cargar a más de 0.5CmA pero menos de 1CmA. La carga de baterías a más de 1CmA puede causar que se active la ventilación de seguridad por el aumento de la presión interna de las baterías, causando fuga de electrolitos. Cuando la temperatura de las baterías se detecta por un termistor u otro tipo de sensor, y su temperatura está bajo 0 C o sobre los 40 C al comienzo de la carga, se debe realizar una carga flotante, en lugar de una carga rápida. Una carga rápida se debe detener cuando cualquiera de los valores descriptos más abajo alcanza el nivel señalado:

- **Control del límite voltaje superior:** Aprox. 1.8V/celda. Este método de carga se cambia a flotante si el voltaje de la batería alcanza aproximadamente 1.8V/celda debido a problemas o funcionamiento incorrecto de alguna naturaleza.
- **Valor de dV/dt (o corte por delta pico):** 5 a 10mV/celda. Cuando el voltaje de la batería cae de su pico un 5 a 10mV/celda durante la carga rápida, está se debe detener, y el método de carga se debe cambiar a flotante.
- **Valor de dT/dt (o corte por temperatura):** 1 a 2 C/min. Cuando un aumento en la temperatura de batería por unidad de tiempo se detecta en el termistor u otro tipo de sensor de temperatura durante la carga rápida, y el aumento de temperatura es detectado por el sensor, la carga rápida debe detenerse y el método de carga cambiarse a flotante.
- **Tiempo límite:** 90 minutos.

2. Para cargar baterías excesivamente descargadas, primero aplicar carga flotante para que la corriente fluya, y luego proceder con la carga rápida una vez que el voltaje de la batería se elevó. **Voltaje inicial para carga rápida: Aprox. 0.8V/celda con una corriente de 0.2 ~ 0.3 CmA.**

Requisitos:

- **Espera inicial:** 10 minutos. Esto previene que los circuitos de detección de dV/dt se active por el tiempo especificado al comienzo de la carga rápida. Sin embargo, la detección dT/dt puede estar activa en este periodo. Esto es necesario para baterías que fueron dejadas sin carga durante mucho tiempo o fueron excesivamente descargadas, etc. La espera inicial es necesaria para prevenir que la carga se detenga (para prevenir malos funcionamientos) debido a pseudos $-dV/dt$.
- **Corriente flotante o de mantenimiento:** 0.033 a 0.05 CmA. Cuando el flujo de corriente es alto, la temperatura de las baterías aumenta, causando que las características de la batería se deterioren.
- **Tiempo de carga rápida:** 60 minutos.
- **Tiempo total:** 10 a 20 horas. Sobrecargar una batería NiXX, aun en carga flotante o de mantenimiento, causa el deterioro en las características de las baterías. Para prevenir la sobrecarga por carga flotante o cualquier otro método, se debe proveer de un temporizador para regular el tiempo total de carga.

Análisis de carga/descarga de baterías SLA (Sealed Lead-Acid) Plomo-Ácido

A diferencia de las baterías NiXX, este tipo de baterías se cargan a voltajes fijos en lugar de corrientes fijas.

Método de carga:

1. Verificar si la batería aceptará la carga.
2. Si está bien, iniciar la carga a corriente constante a capacidad/10.
3. Cuando el voltaje alcance 2.55V/celda cambiar a carga por voltaje constante a 2.45V/celda.
4. Si la corriente cae por debajo de capacidad/20 entonces cambiar a carga flotante.
5. Cargar en forma flotante a 2.25V/celda por tiempo indefinido (máximo recomendable 20 horas).

Requisitos:

Una batería SLA no debería descargarse a menos de 1.5V/celda.
Voltaje máximo para baterías SLA es de 3V/celda.

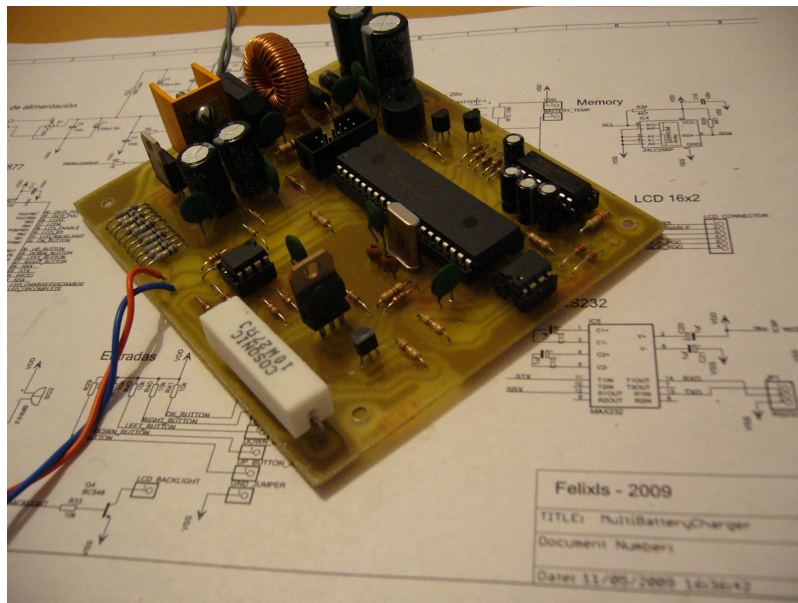
Análisis de carga/descarga de baterías LiPO (litio polímero) y LiIon(ion de litio)

Método de carga:

1. Corriente constante hasta 1C hasta que el voltaje alcance los 4.2V/celda.
2. Corriente constante a 4.2V/celda hasta que la corriente caiga a la capacidad / 15.
3. Carga flotante a capacidad / 30 por 30 minutos.

Requisitos:

Una batería LiPO no debería descargarse a menos de 2.5V/celda.
Voltaje máximo para baterías LiPO (litio polímero) es de 4.5V/celda.



Datos técnicos

Corriente máxima de carga: 0 a 5A
Corriente máxima de descarga: 1A ($I = V/R \rightarrow I = 12/10 \rightarrow I=1.2A$)
Modos: 0:NiCd, 1:NiMh, 2:SLA, 3:LiPo, 4: LiIo
Capacidad de batería: 3000mAh
Número de celdas: (1 a 19) 6

Carga: (1 a 10) (10) $\rightarrow 3000*1.0=3A$
Descarga: 0 a 1A

Espera delta pico: 10 minutos

Temperatura mínima en
altas corrientes ($>0.5C$) 10 grados

Corte por bajo voltaje (por celda):

NiCd (0 a 2550)	800mV
NiMh (0 a 2550)	1000mV
LiPo (2500 a 3500)	3000mV
SLA (1500 a 2500)	2000mV

Delta pico (0 a 255):

NiCd	40mV
NiMh	20mV

Voltaje máximo por celda:

NiCd	1680mV
NiMh	1680mV
LiPo (3500 a 4500)	4200mV
SLA (2000 a 3000)	2500mV

(2.5V x 6 celdas = 15V - v. máximo para SLA de 12V)

Voltaje carga normal por celda:

LiPo (3500 a 4500)	4200mV
SLA (2000 a 3000)	2450mV (2.45V x 6 celdas = 14.7V)

Corriente final (% de la corriente de carga inicial):

LiPo	(3%) $\rightarrow 3000*3/100=90mA$
SLA	(5%) $\rightarrow 3000*5/100=150mA$

Timeout

NiCd y NiMh	65 min a 1C, 130 min para 0.5C
LiPo	30 min en flotante
SLA	25 horas