



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico

CARGADOR DE BATERIAS LITIO-ION EMPLEADO PARA APARATOS PORTÁTILES

Autores:

Juan Ricardo Damián Zamacona

José Castillo Hernández

Sergio Quintana Thierry

Rosendo Fuentes González

5 de abril de 2017

Desarrollo Tecnológico

Financiamiento Interno

Juan Ricardo Damián Zamacona, José Castillo Hernández, Sergio Quintana Thierry, Rosendo Fuentes González.

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Circuito Exterior S/N, C.P. 04510,
A.P.70-186, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.

ricardo.damian@ccadet.unam.mx

Resumen

El presente trabajo trata sobre los resultados alcanzados acerca del diseño y construcción de un cargador de baterías de Li-ion. Estas baterías al igual que las LIPO son baterías de última generación y su metodología de carga y descarga difiere del resto de las baterías ya conocidas. El método de carga y descarga debe respetar ciertas reglas para evitar daños permanentes a las baterías mismas y a los equipos portátiles que las utilizan. El objetivo principal de este trabajo es diseñar y construir un circuito electrónico a la medida para realizar la carga de baterías tipo Li-ion, este tipo de baterías se emplean frecuentemente en equipos portátiles, tal es el caso de algunos diseñados en el laboratorio de electrónica del CCADET. En la actualidad, los sistemas biomédicos tienen gran impacto en la sociedad, es por ello que se ha buscado realizar sistemas portátiles, para que el usuario los pueda llevar a todas partes, por lo mismo, estos equipos actualmente requieren de una fuente de energía lo suficientemente robusta y confiable para poder operar el mayor tiempo posible. En el mercado, existe un sinnúmero de baterías, pero este trabajo solo se enfoca en un tipo de baterías de Litio-ion y más específico, en un tipo conocido como "Lipo", la cual nos puede proporcionar mediante un arreglo de celdas un voltaje nominal de 7.4 V y una corriente de 3600mAh. Una vez conocidas las necesidades de carga y descarga de la batería citada, y de acuerdo a datos del fabricante, se procede al diseño del circuito electrónico capaz de recargar la batería sin dañarla.

Índice

Introducción.....	4
1 El Sistema Simplificado de Estudio del Sueño.....	5
1.1 Resumen de características eléctricas/mecánicas del sistema simplificado.....	6
1.2 Requerimientos de la fuente de alimentación del sistema.....	8
1.3 Componentes principales de la fuente de alimentación del sistema Simplificado.....	9
1.3.1 Protección de inversión de polaridad.....	9
1.3.2 Regulador de voltaje L4941.....	9
1.3.3 Regulador de voltaje LM1117.....	9
1.3.4 Circuito integrado MAX660.....	9
1.3.5 Resumen de requerimientos.....	9
2 Tipos de baterías recargables.....	10
2.1 Propiedades de las baterías.....	10
2.1.1 Densidad de energía.....	10
2.1.2 El ciclo de vida.....	10
2.1.3 El tiempo de carga.....	11
2.1.4 Tolerancia a la sobrecarga.....	11
2.1.5 Voltaje nominal de las baterías.....	11
3 Baterías Li-ion.....	11
3.1 Ventajas de las Baterías Li-ion.....	12
3.2 Desventajas de las baterías de Litio.....	12
3.3 Curva de descarga de diferentes baterías.....	12
4 La capacidad de carga de una batería.....	13
4.1 Energía que puede suministrar una batería.....	13
4.2 Constante de carga/descarga “ ζ ”.....	14
5 Características de una Batería de Litio Mod. 803575(180).....	14
5.1 Lista de especificaciones Batería Yoku, mod. 803575(180).....	15
6 Carga de la Batería.....	15
6.1 Sistema de carga de la batería.....	16
6.2 Circuito de carga MCP73864.....	16
6.3 Descripción de terminales.....	18
6.4 Ajuste de valores para el MCP73864.....	19
7 Resultados.....	25
7.1 Descarga de la batería para pruebas.....	27
7.1 Pruebas de carga de la batería.....	28
Conclusiones.....	29
Apéndice A.....	30
Referencias Bibliográficas.....	43

Nomenclatura

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
<i>A</i>	<i>Ampere</i>
<i>1C</i>	<i>Tasa de carga</i>
<i>i</i>	<i>Corriente</i>
<i>L</i>	<i>Inductancia</i>
<i>Li-ion</i>	<i>Litio ion</i>
<i>Lipo</i>	<i>Litio polímero</i>
<i>mAh</i>	<i>Miliampere - hora</i>
<i>NTC</i>	<i>Coeficiente Negativo de Temperatura</i>
<i>R</i>	<i>Resistencia</i>
<i>V</i>	<i>Voltaje</i>
<i>Wh</i>	<i>Watts- hora</i>
<i>Wh/Kg</i>	<i>Densidad de energía</i>

Introducción

Debido al constante crecimiento de las necesidades en salud y al avance de la tecnología en el desarrollo de aparatos portátiles; la biomedicina, se ha centrado en realizar sistemas biomédicos para aumentar la comodidad del usuario, es por esto, que ha sido necesario buscar fuentes de energía alternativas, que sean capaces de alimentar sistemas portátiles, cada vez más pequeños. Una opción es mediante el uso de baterías más pequeñas y eficientes, las cuales por lo general son recargables dado que de esta manera los costos son más accesibles para el usuario.

Para cubrir las necesidades de energía de equipos portátiles, durante años se han utilizado baterías primarias y secundarias, entendiéndose por baterías primarias aquellas que no son recargables y baterías secundarias como aquellas que pueden revertir las reacciones químicas, comúnmente son llamadas recargables. Es por esta razón, que existen infinidad de baterías, pero este trabajo solamente se centra en las baterías Li-ion, que entran en la clasificación de baterías recargables y se pueden utilizar para alimentar sistemas portátiles tales como los diseñados en el CCADET, ejemplos de ello podría ser el maniquí hiperreal para destrezas médicas o el sistema simplificado de estudios del sueño.

Para lograr la correcta selección del tipo de batería que se adapte a cierta necesidad y finalmente, para su correcto manejo, se deben conocer las ventajas y desventajas de los diferentes modelos existentes en el mercado, así como los cuidados que se deben tener al manipular cada tipo de batería, también es indispensable conocer los voltajes mínimo y máximo que debe tener la batería en sus terminales para evitar daños, con esto último, se debe tener un especial cuidado si la batería seleccionada finalmente fuera de Litio ion. Por otro lado, si se trata de una batería recargable también es necesario conocer el valor de corriente máxima de carga que se debe suministrar para no afectar su ciclo de vida, así como la corriente máxima que se le puede demandar. Estos datos se pueden conocer de la hoja técnica del fabricante y de la literatura específica sobre la batería seleccionada.

Una vez obtenida la información técnica de la batería seleccionada, se procede al diseño electrónico del circuito de carga, de esta forma, se podrán estudiar los requerimientos que debe cumplir la circuitería empleada para poder suministrar la energía necesaria a la batería, de esta manera se podrá realizar la recarga de forma segura para finalmente poder utilizarla en el equipo biomédico para el que fue seleccionada. En este trabajo, se presentará una alternativa de solución a la construcción de un cargador de baterías de tipo Li-ion, el cual se basa en el uso de un circuito integrado de propósito específico, en particular en el MCP73864 que es un circuito integrado del fabricante microchip. En forma general, este circuito se caracteriza por estar diseñado específicamente para el control de carga de baterías Li-ion y Lipo.

Para la selección de todos los componentes electrónicos necesarios, adicionales al circuito integrado principal, se debe partir de las características eléctricas de la batería seleccionada, tales como el voltaje nominal, la corriente y temperatura a la cual debe operar para no causarle daño, entre otros parámetros, esta información se puede obtener de la hoja de datos del fabricante de la batería. Una vez seleccionados los componentes que integran todo el sistema electrónico del cargador, y armado este, se hace necesario realizar pruebas de funcionamiento. Para esto, es necesario montar un banco de pruebas de tal forma que la batería se pueda someter a procesos de carga y descarga, de tal forma que se puedan medir tiempos, voltajes y corrientes presentes en el momento de la carga o de la descarga. Es entonces cuando se hace necesario diseñar un sistema de monitoreo automático de la corriente, el voltaje y el tiempo.

Este último sistema de pruebas se realizó con una tarjeta de NI la cual se conectó a una PC para graficar en tiempo real lo que sucede con la batería en todo momento de la prueba.

1 El Sistema Simplificado de Estudio del Sueño

El sistema simplificado (Damián et al, 2013) para estudios del sueño diseñado en el laboratorio de electrónica del CCADET es un sistema completamente portátil, ya que no necesita de una "PC" para la captura de señales. La persona que porta el equipo, puede programar por sí sola, mediante una botonera el tiempo total de captura, el cual puede variar entre 2, 4, 6 u 8 horas, dependiendo del estudio solicitado. Al final del estudio, se debe retirar la memoria USB del equipo para poder visualizar la información en un monitor de una PC mediante un software, que también fue diseñado especialmente para este sistema.

Toda la electrónica está contenida en un gabinete de 15.1 x 7.8 x 4.3 cm y tiene un peso aproximado de 235g, a este gabinete se le conectan los sensores para capturar las señales de ECG, expansión torácica, ronquido, ritmo respiratorio y saturación de oxígeno en sangre por medio de conectores especiales los cuales están contenidos en la misma caja del sistema. Para el suministro de energía, es recomendable utilizar baterías, las cuales son las encargadas de polarizar toda la electrónica involucrada en el sistema. En la figura 1 se muestran dos vistas del sistema simplificado para estudios del sueño mencionado.



Figura 1. Vista general del sistema simplificado

1.1 Resumen de características eléctricas/mecánicas del sistema simplificado

A continuación se da una breve descripción del sistema simplificado para estudios del sueño diseñado y construido en el CCADET.

Es un instrumento portátil de bajo costo para realizar estudios del sueño simplificados, para ello se almacenan en memoria 7 variables de tipo cardiorrespiratorias, provenientes de sensores especiales.

Especificaciones Eléctricas:

- Alimentación: Banco de baterías
- Voltaje para etapa digital: 5VDC
- Voltaje para condicionamiento analógico: +/- 5VDC
- Voltaje para acondicionamiento de Oximetría: ≥ 7 VDC
- Voltaje para Circuito de módulo de oximetría: 3.3VDC
- Requerimiento de duración aproximada de la batería: Hasta 8 horas a carga total
- Consumo de corriente: Aproximadamente 100mA
- Tipo de almacenamiento de datos: Memoria flash USB
- Tiempo de almacenamiento: Registros para: 2, 4, 6 y 8 horas.

Especificaciones Mecánicas:

- Peso: 235 gramos
- Gabinete: Aluminio
- Dimensiones: 151.3 mm x 43 mm x 78.1mm

El diagrama a bloques de cómo está integrado el sistema simplificado y sus requerimientos de energía se presentan antes de definir un sistema electrónico para el cargador de la batería, este se puede ver en la figura 2. Como se puede observar en la misma figura, para alimentar todo el sistema es necesario utilizar un banco de baterías, el cual alimenta un circuito primario que provee todos los voltajes necesarios para los diferentes circuitos integrados, también se puede ver, que el sistema no cuenta con un circuito propio, para realizar la carga de las baterías cuando éstas se descargan, tampoco cuenta con protecciones, que limiten la caída de voltaje de las baterías en la descarga, a un nivel tal que pueda dañarla en caso de que esta sea recargable tipo li-ión.

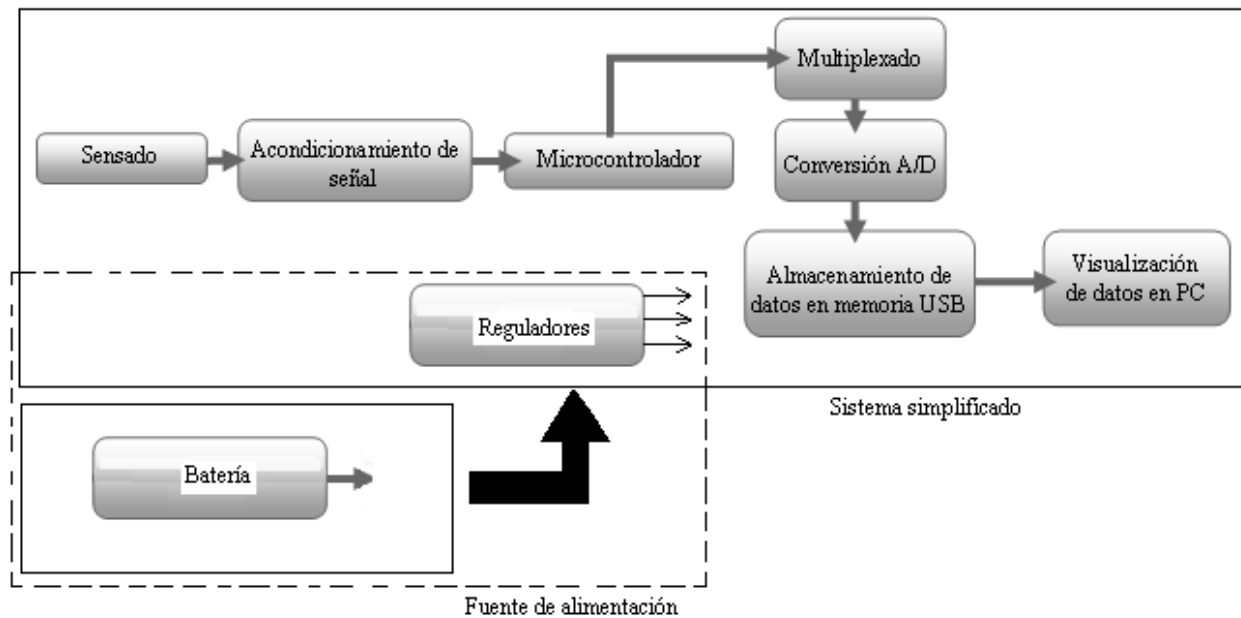


Figura 2. Diagrama a bloques del sistema simplificado original

En la figura 3 se puede ver el nuevo esquema propuesto del sistema simplificado en el cual se aprecia el sistema para carga de una sola batería y el circuito detector de voltaje que se encargará de vigilar que el voltaje en la batería no rebase el valor mínimo permitido por el fabricante y de esta manera evitarle daños irreversibles a la batería.

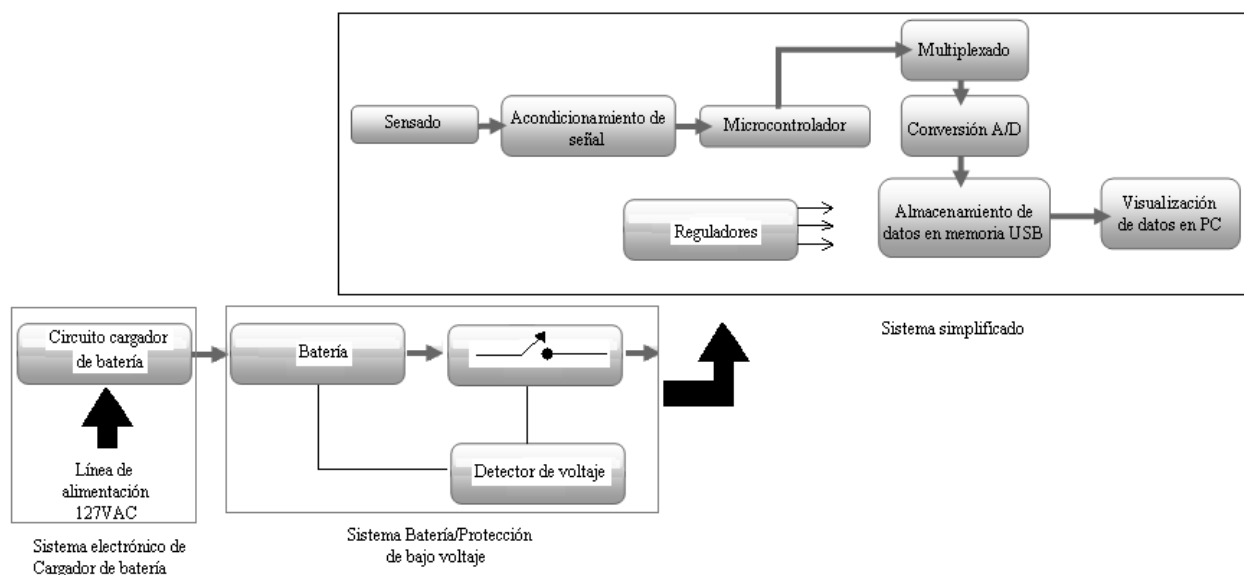


Figura 3. Diagrama a bloques del nuevo esquema propuesto de alimentación del sistema simplificado.

Se puede ver en la figura 3, que la batería se puede desmontar del sistema para cargarla por separado mediante el circuito diseñado y presentado en este trabajo. También el circuito protector está ligado a la batería de tal forma que, al retirar la batería, también el protector de bajo-voltaje se queda con ésta.

1.2 Requerimientos de la fuente de alimentación del sistema

La fuente de alimentación es una de las partes más importantes en cualquier sistema electrónico dado que es la que suministra energía al sistema y permite el funcionamiento de todos los dispositivos que lo integran. Básicamente existen en el mercado dos tipos de fuentes de alimentación, las lineales y las conmutadas, su aplicación depende de los requerimientos de cada aplicación. Cualquiera que sea el tipo de fuente de alimentación utilizada, se necesita de una red eléctrica para el suministro de energía; por medio de circuitos eléctricos y electrónicos la señal de la línea es acondicionada para convertir la corriente alterna en corriente continua, para que con esta última sea con la que finalmente funcionen los sistemas electrónicos. Por otro lado, si el que provee la energía es una batería como en nuestro caso, aun así, se requiere de la línea eléctrica dado que es necesario recargar la batería cuando se encuentra descargada, esto no sería necesario si la batería fuera desechable, pero esto incrementa considerablemente los costos de mantenimiento del equipo.

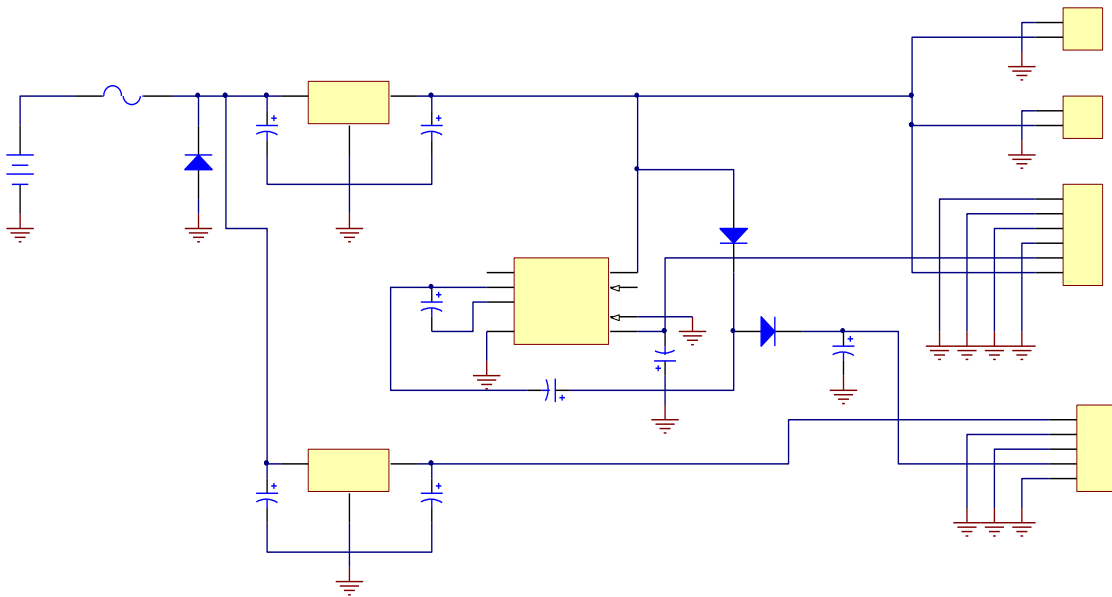


Figura 4. Fuente de alimentación del sistema simplificado

Cabe mencionar que la carga de la batería podría prescindir de la línea eléctrica si se tuvieran paneles fotovoltaicos pero este trabajo no pretende abarcar este tema. Por otro lado, es conveniente mencionar que el sistema simplificado utiliza la topología combinada de fuente lineal y fuente conmutada para polarizar todos los circuitos electrónicos que lo componen. En la figura 4 se muestra el esquema de la fuente de alimentación del sistema simplificado tomando la energía a partir de una batería previamente cargada, ya sea de tipo recargable o no recargable.

1.3 Componentes principales de la fuente de alimentación del sistema Simplificado

1.3.1 Protección de inversión de polaridad

Se puede ver de la figura 4, que a la entrada de la fuente, inmediatamente después de la batería, se encuentra un fusible de protección y un diodo en inversa, esto debido a que la batería se tiene que retirar constantemente para realizar su cambio, es por lo tanto indispensable proteger al sistema contra situaciones que provoquen una inversión accidental de polaridad al momento de colocar nuevamente la batería.

1.3.2 Regulador de voltaje L4941

También se puede ver en la figura 4 que la fuente cuenta con un regulador de voltaje L4941 a la entrada, el cual es un circuito integrado de bajo dropout y bajo consumo de corriente, además cuenta con protección contra polaridad invertida. Su voltaje de salida es de 5V y requiere de un voltaje mínimo de entrada de 5.3V para operar considerando su voltaje de dropout que es de 250mV. Por otro lado, el voltaje máximo que soporta es de 16V.

1.3.3 Regulador de voltaje LM1117

El regulador de voltaje LM1117 también se encuentra a la entrada de la fuente de alimentación, inmediatamente después de la batería, éste es un circuito integrado que al igual que el L4941 es de bajo dropout ya que es tan solo de 900mV, además es de bajo consumo de corriente, este regulador entrega a la salida un voltaje fijo de 3.3V con una entrada de voltaje mínima de 4.2 V, el voltaje máximo que soporta es de 20V.

1.3.4 Circuito integrado MAX660

Este circuito se encuentra conectado en cascada con el L4941 por lo que sus características no impactan tanto en la selección de la batería ya que si los dos circuitos anteriores funcionan adecuadamente este último también lo hará dada su forma de conexión dentro del circuito. El max660 es un convertidor de voltaje conmutado, el cual permite invertir la polaridad de voltajes positivos en el rango de 1.5 a 5.5 V a su correspondiente voltaje negativo, además puede ser utilizado como doblador de voltaje, este circuito se encarga de generar los voltajes de -5V para la etapa de acondicionamiento analógico, concretamente para los amplificadores operacionales y el voltaje ≥ 7 V que necesita parte del circuito.

1.3.5 Resumen de requerimientos

Para que la fuente que polariza el sistema simplificado pueda operar adecuadamente y considerando los voltajes de Dropout de los circuitos reguladores empleados y mostrados en el apartado anterior, se puede ver que se tienen valores críticos, para que todos los circuitos de la fuente operen adecuadamente. El valor crítico mínimo corresponde a un valor de voltaje de entrada de 5.45V y la corriente necesaria mínima para que todo el sistema trabaje es de 100mA. Por su parte, el voltaje crítico máximo que se puede tener a la entrada de la fuente es de 16V.

En resumen, la batería seleccionada del tipo que sea, debe garantizar que el voltaje mínimo entregado al sistema sea de 5.45V para garantizar la correcta operación del sistema, adicionalmente a esto, la batería debe tener la capacidad de soportar este nivel cuando se descargue, además, el voltaje máximo de esta no debe sobrepasar los 16 V dado que si esto sucede el L4941 puede dañarse por sobre-voltaje de igual manera. Adicionalmente, la corriente mínima que debe poder suministrar es de 100mA.

2 Tipos de baterías recargables

Dado que lo ideal es tener una batería recargable para abaratar precios se sabe que en el mercado existen gran variedad de baterías de este tipo (Camacho, 2017) las más comunes se presentan en la tabla 1. En esta tabla también se presenta una de las características eléctricas típica de gran importancia para cada una de las tecnologías de fabricación utilizada con mayor frecuencia, se puede apreciar la densidad de energía típica para cada tecnología, cabe mencionar que las baterías de litio se pueden mezclar con otros componentes para obtener mejores características tal como se muestra en la misma tabla.

2.1 Propiedades de las baterías

2.1.1 Densidad de energía

Es la energía acumulada en una región del espacio; para una pila se puede referenciar con su peso, así que para una batería de litio se tienen densidades de energía superiores a otras baterías construidas con otras tecnologías. En la tabla 1, se muestra la densidad de energía promedio de diferentes tipos de baterías recargables dado que es uno de los parámetros más importantes a analizar debido a que, como en muchas ocasiones donde se emplean, el espacio es muy reducido, entonces se puede ver que las de Li-ion son las que presentan la mejor característica, que corresponde a 150-190 Wh/Kg, lo cual quiere decir que a pesar de tener un tamaño y peso muy reducido, nos puede dar mayor energía que las otras.

Tabla 1. Tabla comparativa que muestra diferentes densidades de energías de baterías construidas con diferentes tecnologías.

Tipo de Batería Recargable	Densidad de Energía (Wh/Kg) Promedio
Plomo-Ácido	40
Níquel-Cadmio(NiCd)	65
Níquel-Metal-Hidruro(Ni-MH)	90
Litio-Fosfato(LFP)	105
Litio-Manganeso(LMO)	120
Litio-Níquel-Manganeso-Cobalto(NMC)	140
Litio-Cobalto(LCO)	170

<http://www.afinidadelectrica.com.ar/>

2.1.2 El ciclo de vida

Nos indica el tiempo de duración de la batería, es el número de ciclos, carga-descarga que puede soportar una batería antes de dañarse definitivamente.

Se sabe que para baterías de Litio-ion su tiempo promedio de vida es de 2 o 3 años aproximadamente.

2.1.3 El tiempo de carga

Indica que tan rápido se puede revertir la reacción química para restablecer el potencial entre sus terminales, esto depende del tipo de batería; el fabricante de éstas lo indica en su hoja de especificaciones.

2.1.4 Tolerancia a la sobrecarga

La tolerancia a la sobre carga que se indica en la tabla 2 nos dice si la batería puede soportar más tiempo conectada al cargador después que su carga fue concluida, se sabe que las baterías de Litio-ion no soportan ser sobrecargadas por mucho tiempo.

2.1.5 Voltaje nominal de las baterías

El voltaje de las celdas unitarias que forman las baterías es un parámetro que se fija por las características electroquímicas de los productos químicos activos de cada tipo de batería, para las baterías de Li-ión este valor puede variar entre 3.0V y 4.2V, dependiendo de su construcción que pueden ser de litio-fosfato de hierro(LFP), litio-oxido de manganeso(LMO), litio-níquel - manganeso-oxido de cobalto(NMC), litio-oxido de cobalto(LCO), litio-níquel-cobalto-oxido de aluminio(NCA) o litio-titanio(LTO).

3 Baterías Li-ion

Como ya se mencionó, la densidad de energía de la batería de Li-ion es normalmente el doble que las de NiCd. Por otro lado, las baterías de litio ofrecen una curva de descarga plana, por lo que permiten un manejo más eficaz de la energía almacenada en un intervalo de tiempo mayor. En la tabla 2 se muestran algunas características importantes de diferentes tipos de baterías recargables.

Tabla 2. Comparación de características de baterías de litio con otras baterías recargables

Características	Ni-cd	Ni-mh	Li-ion
Tiempo de carga rápida Promedio	1h	(3h)	(2h)
Tolerancia a la sobre carga	Moderada	Baja	Muy Baja
Ciclo de vida	1500	300-500	300-500
Voltaje de celdas	1.2V	1.2V	3.7V

En la tabla 3 se muestra una tabla comparativa entre diferentes tipos de baterías de Litio, estas propiedades dependen del elemento con el que se combina el litio para mejorar alguna propiedad de la batería.

Tabla 3. Comparación de algunas propiedades entre diferentes tipos de baterías de Li-ión

<i>Característica</i>	<i>Li-Cobalto LiCoO₂ (LCO)</i>	<i>Li-manganeso LiMn₂O₄ (LMO)</i>	<i>Li-fosfato LiFePO₄ (LFP)</i>	<i>NMC LiNiMnCoO₂</i>
Voltaje	3.60V	3.80V	3.30V	3.60/3.70V
Límite de carga	4.20V	4.20V	3.60V	4.20V
Temperatura de operación	Promedio	Promedio	bueno	bueno
Carga(Razón ζ)	1 ζ	10 ζ , 40 ζ pulsado	35 ζ continuo	10 ζ
Seguridad	Requiere circuito de protección y balanceo De celdas para baterías multicelda		Muy seguras, requiere balanceo de celdas y protección de voltaje	Más seguras que litio cobalto, las mismas protecciones para litio-fosfato

3.1 Ventajas de las Baterías Li-ion

Las baterías Li-ion son de bajo mantenimiento, no tienen el efecto memoria, y no se requiere completar un ciclo completo para prolongar su vida. Además, la auto descarga es menor de la mitad en comparación con las baterías de NiCd y NiMH.

Su voltaje relativamente alto por celda elemental, permite la fabricación de baterías de un solo elemento, gracias a que una sola celda puede proporcionar un voltaje nominal de 3.7V, estas baterías se caracterizan por ser compactas y excelentes para aparatos portátiles que tienen un gran consumo de energía.

3.2 Desventajas de las baterías de Litio

El envejecimiento es un problema con la mayoría de las baterías de Li-ion. Por razones desconocidas, los fabricantes de baterías guardan silencio sobre esta cuestión. Algún deterioro de la capacidad es notable después de un año, con la batería en uso o no. Después de dos o tal vez tres años, la batería falla con frecuencia. Cabe mencionar que otras baterías también tienen efectos degenerativos relacionados con la edad. Esto es especialmente cierto para el NiMH si se expone a altas temperaturas ambientales. El almacenamiento prolongado no está recomendado para las baterías de Li-ion. Normalmente los paquetes de baterías de este tipo tienen un circuito de protección de sobre cargas y fugas de corriente para garantizar su vida útil.

3.3 Curva de descarga de diferentes baterías

Otra característica importante de las baterías es la forma en la que se descargan ya que dependiendo de la aplicación es recomendable la selección de una u otra batería para evitar problemas en el momento crítico del requerimiento de energía. En la figura 5 se puede ver la curva de descarga de diferentes tipos de baterías. Como se observa en la misma figura, las

baterías de Li-ion tienen una curva relativamente plana a diferencia de las de ácido - plomo que tiene una caída más pronunciada.

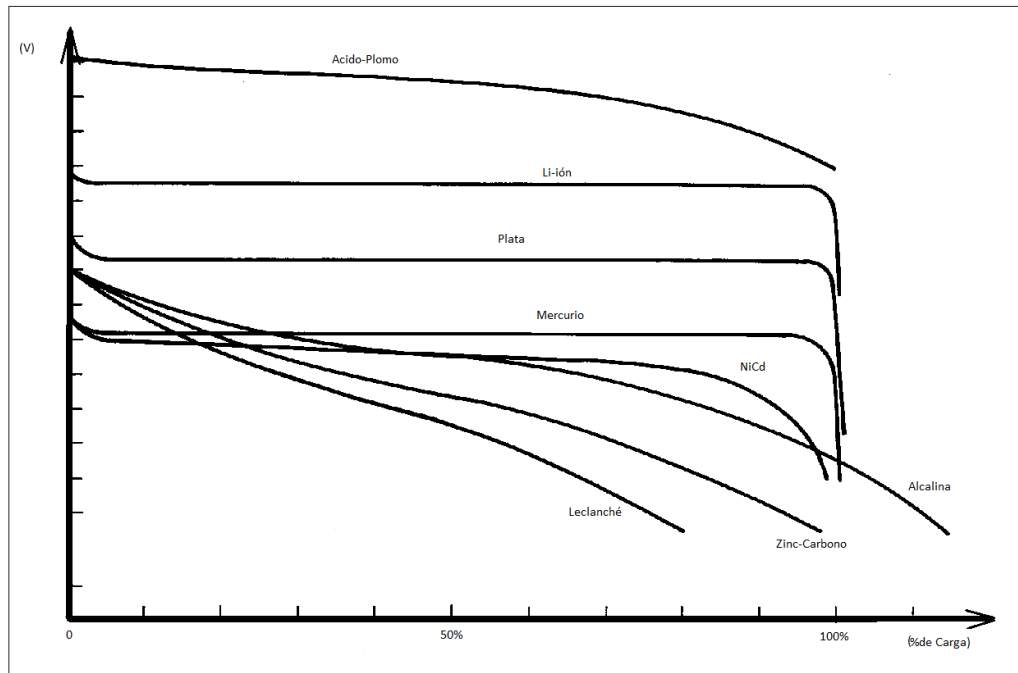


Figura 5. Curvas de descarga de diferentes baterías

Se puede ver también en la figura 5, que las baterías de litio tienden a conservar su voltaje constante (Carlos, 2010) hasta un límite en el cual empieza a caer abruptamente es por ello que estas baterías son ideales para la aplicación que en este trabajo se presenta ya que esto permitirá que los reguladores de voltaje trabajen por más tiempo al tener un voltaje de suministro por encima de su valor mínimo requerido.

4 La capacidad de carga de una batería

La carga que puede almacenar una batería, se mide en la práctica en amperes-hora (Ah) y es un importante parámetro a considerar al momento de seleccionar la más adecuada.

En una batería en la que el fabricante especifica una capacidad eléctrica de 1(Ah), quiere decir que tiene una capacidad eléctrica de 3600(C), por otro lado, si se tiene una capacidad de 0.000277 (Ah), esto corresponde a tener 1(C) de capacidad eléctrica de carga.

4.1 Energía que puede suministrar una batería

Como se puede ver de la figura 5, la energía que puede suministrar una batería depende de su capacidad y de su voltaje promedio dado que el voltaje que suministra cambia durante la descarga. La energía de una batería se mide habitualmente en Watts-hora (Wh), lo cual corresponde a Julios (J). 1Wh corresponde a 3600(J) y 1(J) corresponde a 0.00278 (Wh). Si una batería indica que puede proporcionar 3200mAh. En teoría puede proporcionar 3.2A durante una hora, 1.6A en 2 horas, 0.8A en 4 horas 0.4A en 8 horas, 0.3A en 12horas, 0.2A en 16 horas y 0.1A en 32 horas. Dado esto podemos suponer que al polarizar nuestro circuito biomédico en estudio con una batería de esta capacidad y demandando 100mA la batería podría durar 32 horas, esto quiere decir que si un estudio biomédico dura aproximadamente 8

horas la batería estaría sobrada. En la práctica esto no es exactamente así, dado que hay que considerar la resistencia interna de la batería, en la que se tienen pérdidas de energía y por lo mismo el tiempo de respaldo disminuye considerablemente.

4.2 Constante de carga/descarga “ ζ ”

ζ es una constante que los fabricantes especifican para determinada batería y que depende de los miliamperios hora indicados en su etiqueta, este valor se utiliza para indicar de una manera más práctica la intensidad de corriente a la que puede cargarse/descargarse sin dañarla, para calcular este parámetro se emplea la ecuación (1).

$$\zeta = \frac{X}{1000} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

ζ = constante de carga o descarga

X= capacidad en mAh de la batería

Por ejemplo, una batería LiPo de 4200mAh, tendrá asociada una ζ de 4.2, si el fabricante especifica que no se debe cargar a más de 1 ζ , quiere decir que la corriente de carga no debe ser mayor de 4.2A, si por otro lado indica que no debe descargarse a más de 4 ζ , esto quiere decir que la corriente que se le puede demandar no debe ser mayor de 16.8A, si esto no se respeta la batería puede sufrir daños irreversibles.

Si la carga o descarga de la batería no se realiza de forma adecuada, ésta puede llegar a dañarse, en la figura 6 se muestra un ejemplo de una batería de Litio que por su mal uso se encuentra inflada, esto debido a la acumulación de gases en su interior, en este caso el daño es irreversible y por lo mismo se tiene que desechar.



Figura 6. Batería de Litio dañada

5 Características de una Batería de Litio Mod. 803575(180)

La batería LIPO modelo 803575, como la mostrada en la figura 7, es ideal para la aplicación de este trabajo dado que el espacio es limitado, las dimensiones de esta batería resultaron apropiadas para el diseño propuesto.



Figura 7. Imagen de la batería 803575

5.1 Lista de especificaciones Batería Yoku, mod. 803575(180)

Se puede conseguir comercialmente en paquetes de 4 celdas y en la tabla 4 se muestran sus características eléctricas.

Tabla 4. Propiedades eléctricas de la batería seleccionada

Característica	Valor
Ensamble	2S2P
Capacidad Nominal	1800mAh/celda= 3600mAh/paquete
Tensión Nominal	3.7V/Celda=7.4V/paq.
Corriente de carga Estándar	0.2C hasta los 8.4V
Corriente de carga Máxima (carga Rápida)	0.5C
Corriente de descarga Estándar	0.2C hasta los 5.5V
Corriente de descarga Máxima (descarga Rápida)	1.0C
Tiempo de carga Estándar	8 horas
Tiempo de carga Rápida	2.8 horas
Valor medio de tensión en la descarga	7.2V---7.7V
Tensión de Corte	5.5V(paquete)
Tensión de Carga	8.4V
Tensión de Carga Máxima	9.6V/paquete
Ciclo de vida	300 veces
Impedancia de la Celda (R interna)	<180mΩ(paquete)
Temperatura de funcionamiento	(-10 a 45 °C)
Temperatura de Carga Estándar	0 a 45°C
Temperatura de Carga Rápida	10 a 45°C
Humedad relativa recomendada	45 a 75% RH

6 Carga de la Batería

Los cargadores de Li-ion se caracterizan por tener un voltaje limitado para su carga con respecto a las baterías de ácido plomo, la diferencia radica en un voltaje más alto por celda, una tolerancia de tensión más restringida y la ausencia de goteo o carga flotante cuando se alcanza la carga completa, el método de carga rápida no disminuye significativamente el tiempo de carga. El circuito de protección limita la cantidad de corriente que la batería puede aceptar. Las baterías a base de litio tienen un metabolismo lento y deben tomar su tiempo para absorber la energía.

6.1 Sistema de carga de la batería

Después de conocer el consumo de energía del sistema biomédico y las características principales para el cuidado de la batería, se prosiguió a la selección del circuito que permite suministrar la energía necesaria para almacenar la carga en la batería de respaldo.

Para el diseño del sistema de respaldo de energía, se considera utilizar el circuito MCP73864 de microchip, es un circuito diseñado especialmente como cargadores de baterías de Li-ion y Lipo.

Conociendo que en la descarga de un paquete de baterías del tipo seleccionado, no se debe provocar que la tensión en las terminales de la batería sea menor a 5.5V, y que cuando se carga, la tensión no debe exceder los 7.45V para garantizar el cuidado de ésta; se procedió a proponer un circuito cargador con base en el MCP73864, el cual se caracteriza, como ya se mencionó, por ser un circuito diseñado especialmente para cargar baterías de Li-ion. Este circuito, una vez configurado, para cargar la batería a 7.4V nominal suministrando una corriente máxima de carga de 720mA, valor calculado gracias a la tasa de carga de las baterías de este tipo, esto es 0.2 C. El cálculo de la corriente es importante porque con esto se puede estimar el tiempo que durará la batería en cargar, además se encuentra relacionado con el ciclo de vida de la misma. Una vez acondicionado el circuito, se procedió a realizar pruebas, en donde se presenta como el MCP73864 carga la batería con voltaje constante y pulsos de corriente para evitar que la batería se caliente y se le provoque un daño.

6.2 Circuito de carga MCP73864

En resumen este circuito se caracteriza por ser capaz de monitorear la temperatura de la celda, incluir un pre-acondicionamiento de esta, suministrar un voltaje constante, regular la corriente de carga, tener un censado de corriente interno, tener un bloque que muestra el estado de carga y uno de error así como un bloque de protección (Microchip, 1998).

Características más sobresalientes:

- Controlador lineal para gestión de carga el cual cuenta con:
Un transistor de paso integrado, un sensor de corriente y protección de bloqueo inverso.
- Alta precisión en la regulación de voltaje: $\pm 0.5\%$
- Tiene dos opciones seleccionables para la regulación de voltaje:
8.2V y 8.4V para el circuito MCP73864 y el MCP73862, por otro lado para las versiones MCP73861/3 las opciones son de 4.1V y 4.2V.
- La Corriente de carga programable máxima es de 1.2A.
- Cuenta con Temporizadores programables de seguridad de carga.
- Cuenta con Pre-acondicionamiento de las Celdas profundamente descargadas.
- Cuenta con Control automático de fin de carga.
- Cuenta con Monitoreo continuo opcional de temperatura de la celda.
- Cuenta con una salida indicadora de estatus de carga con la que se puede manejar un led indicador (STAT 1), se apaga el led cuando el ciclo de carga ha sido completado.
- Cuenta con una salida indicadora de falla en la que se puede conectar un led.
- Cuenta con apagado automático.
- Tiene regulación térmica.
- Su rango de temperatura de operación está entre -40 a 85°C.

El circuito MCP73864 es un controlador avanzado para realizar carga lineal de baterías especiales. Este integrado está diseñado para realizar la carga de manera independiente de un

arreglo de celdas de litio-ion o litio-polímero proporcionando un voltaje programado de 8.2V y 8.4V para lo cual es necesario polarizarlo con un voltaje de entre 8.7V y 12V (VDD), adicionalmente es necesario conectar externamente algunos componentes adicionales para su correcto funcionamiento.

Es un dispositivo que realiza la carga de la batería de forma inteligente realizando comprobaciones de seguridad ya que primero monitorea las condiciones propias de la batería, tal como su temperatura y su estado de carga para proceder a cargarla, si la detecta con una carga demasiado profunda primero la rehabilita enviando pulsos de corriente controlados del orden del 8 al 10% de la corriente programada (IPROG) y después procede con la carga programada, de tal forma que la temperatura de la batería no se eleve significativamente, si esto llegara a suceder, el proceso de carga se detiene. Al principio de la conexión, también realiza un chequeo de los niveles de voltaje necesarios para realizar la carga y si alguno de ellos no es el correcto (ver hoja de datos, UVLOstop, UVLOstart), el proceso de carga no se lleva a cabo y se envía una señal de error.

El MCP73864 cuenta con monitoreo de la corriente de carga durante el modo de regulación de voltaje constante, el ciclo de carga es considerado completo cuando la corriente de carga ha disminuido por debajo del 8% de la regulación de corriente (IREG) o el contador de tiempo ha terminado.

Este circuito limita también la corriente de carga, basándose en la temperatura y optimizando el tiempo de ciclo de carga. Si la temperatura sobrepasa los 155°C la carga se suspende y comenzará nuevamente cuando la temperatura esté de nuevo alrededor de los 10°C. El apagado térmico, es una característica secundaria de seguridad adicional en caso de una falla en el proceso de carga. En la figura 8 se muestra el diagrama a bloques de este circuito.

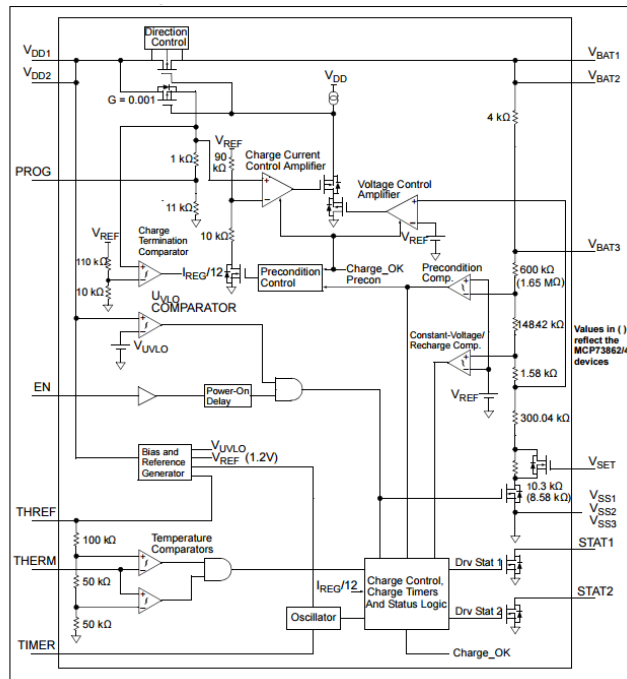


Figura 8. Diagrama a bloques del circuito MCP73864

En la figura 9 se muestra un esquema de la distribución de terminales para un encapsulado tipo SOIC.

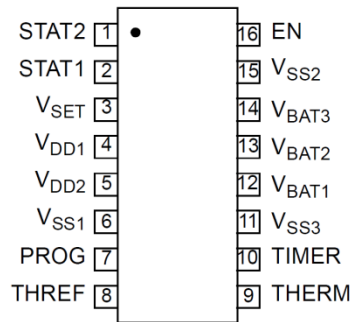


Figura 9 Distribución de terminales del MCP73864 encapsulado SOIC

6.3 Descripción de terminales

Terminal 1 (STAT2) Salida de estado de falla

Terminal 2 (STAT1) Salida de estado de carga

Terminal 3 (VSET) Selección del voltaje de regulación

Terminal 4 (VDD1) Fuente de entrada de alimentación para manejo de batería

Terminal 5 (VDD2) Fuente de entrada de alimentación para manejo de batería

Terminal 6 (VSS1) Referencia de voltaje 0V para el manejo de la batería

Terminal 7 (PROG) Selección de la regulación de corriente

Terminal 8 (THREF) Referencia del sensor de temperatura de la Celda

Terminal 9 (THERM) Entrada de sensor de temperatura de la Celda

Terminal 10 (TIMER) Selección del tiempo

Terminal 11 (VSS3) Referencia de voltaje 0V para el manejo de la batería

Terminal 12 (VBAT1) Salida de control de carga de batería

Terminal 13 (VBAT2) Salida de control de carga de batería

Terminal 14 (VBAT3) Sensado de voltaje de la batería

Terminal 15 (VSS2) Referencia de voltaje 0V para el manejo de la batería

Terminal 16 (EN) Habilitación de lógica

En la figura10, se muestra un ejemplo de conexión usando el MCP73861/3 encapsulado QFN.

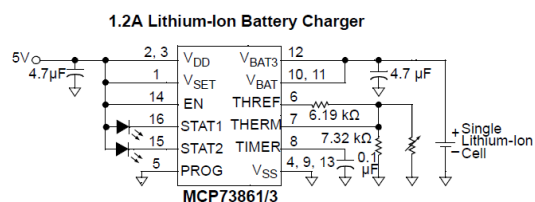


Figura 10. Ejemplo de conexión con el MCP73861/3

6.4 Ajuste de valores de componentes para el MCP73864

(1) STAT₂- (FALLA) Esta terminal es un limitador de corriente, tiene una salida colector abierto para manejar un led directamente e indicar el estado de la carga. De forma alterna, se puede conectar una resistencia de pull-up para conectar con un microcontrolador que funcione como host.

(2) STAT₁- (CARGA) Esta terminal es un limitador de corriente, tiene una salida colector abierto para manejar un led directamente e indicar el estado de la carga. De forma alterna, se puede conectar una resistencia de pull-up para conectar también un microcontrolador.

La tabla 5 muestra el estado de los leds dependiendo de las condiciones de la carga.

Tabla 5. Condiciones del estado de carga

Estado del ciclo de carga	STAT ₁ (pin2)	STAT ₂ (pin 1)
Verificación	Apagado	Apagado
Pre-acondicionamiento	Encendido	Apagado
Carga a corriente constante (Carga rápida)	Encendido	Apagado
Carga a voltaje constante	Encendido	Apagado
Carga completa	Apagado	Apagado
Falla	Apagado	Encendido
Temperatura invalida	Apagado	parpadea a 1Hz con 50% de

		ciclo de trabajo
Modo dormido (deshabilitado)	Apagado	Apagado
Entrada de voltaje desconectado (con resistencia pulldown de 1.5K Ω)	Apagado	Apagado

Notas:

-La frecuencia del parpadeo de 1Hz es debida al capacitor C_{TIMER} de 0.1 μ F

-En la condición de falla, la salida STAT₁ está apagada y la salida STAT₂ está encendida, para poder regresar a la operación normal, el voltaje de entrada se debe desconectar y al volver a aplicarlo se debe re-establecer. Otra forma es mandar la entrada EN (pin16) a un nivel bajo y posteriormente regresarla a un nivel alto.

-Cuando el voltaje en la terminal THERM está fuera de los valores validos de la ventana, el ciclo de carga no empezará o estará suspendido y se reanudará automáticamente cuando la entrada mencionada regresa a sus valores válidos, siempre y cuando los demás parámetros también sean válidos. Durante esta condición de falla, STAT₁ estará apagado y STAT₂ estará parpadeando.

(3) V_{SET}- Para el MCP73862/4 se debe conectar V_{SET} a V_{SS} para lograr un voltaje de regulación de 8.2V, si se conecta a V_{DD} se tendrá un voltaje de regulación de 8.4V.

El requerimiento para la batería seleccionada obliga a ajustar el voltaje V_{REG} a 8.4V por lo que esta terminal se conecta a V_{DD}.

(4,5) V_{DD2}, V_{DD1}- Es recomendable una fuente de voltaje V_{DD} de valor (V_{REG} (típico) +0.3V) hasta 12 V, adicionalmente es recomendable colocar un capacitor de bypass de 4.7 μ F y colocar una resistencia de 1.5 K Ω a tierra cuando se utiliza una fuente que se puede interrumpir, de esta forma, se obliga a que V_{DD} sea menor a V_{BAT} cuando la fuente se desconecta, evitando tener corrientes de fuga altas.

El MCP73864 entra en el modo de apagado si el voltaje en la terminal V_{DD} falla y llega a ser menor que el voltaje UVLOstop o voltaje de paro (V_{STOP}) que como se puede ver de la hoja de datos es aproximadamente 8.7V. Esto previene a que la batería drene corriente hacia el circuito integrado cuando V_{DD} no está presente, V_{DD} debe conectarse a tierra mediante un resistor menor o igual a 1.5K Ω para prevenir que la terminal quede flotando y se iguale al valor V_{BAT} en caso de que se desconecte por alguna razón. Es por ello que la resistencia debe asegurar que V_{DD} sea menor que V_{BAT}.

El rango de alimentación para que el circuito funcione correctamente se encuentra entre 8.7 a 12 V, el voltaje típico al cual puede operar se calcula de acuerdo a la ecuación (2).

$$V_{DD} = [V_{Reg} + 0.3] \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

V_{Reg} = Voltaje máximo de la batería

Teniendo en cuenta que el voltaje máximo es de 8.4V, entonces el circuito se debe alimentar a un voltaje mínimo de 8.7V para su funcionamiento. En este diseño se seleccionó el voltaje V_{DD1} y V_{DD2} en 10V, lo cual cumple con el requisito.

(6, 11,15) V_{SS1} , V_{SS2} , V_{SS3} - Conectar a la terminal negativa de la fuente de alimentación.

(7) PROG- Colocando una resistencia (R_{PROG}) entre esta terminal y V_{SS} se pre-acondiciona, aumentando o reduciendo la corriente que fluye a la batería. Una regulación de corriente para carga rápida puede ser seleccionada mediante esta resistencia de programación.

Al conectar la terminal PROG directamente a V_{SS} se tendrá la máxima corriente de carga que corresponde a una corriente típica de 1.2A.

Por otro lado, la mínima corriente de carga rápida se obtiene al dejar flotando la terminal PROG, esta corriente corresponde típicamente a 100mA.

Si se requiere fijar la corriente a otro valor, la ecuación (3) indica como calcular el valor de R_{PROG} .

En la ecuación, R es medida en K Ω y el valor de corriente deseado se da en amperes.

$$R_{PROG} = \frac{13.2 - 11 \times I_{REG}}{12 \times I_{REG} - 1.2} \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

I_{Reg} = corriente de carga en amperes

R_{Prog} = Resistencia medida en K Ω

Sabiendo que la corriente de la batería en estudio es de 3600mAh, es decir que, proporciona una corriente constante de 3.6 A por hora, por otro lado, las indicaciones del fabricante son que se debe cargar a una tasa de 0.2 ζ y máximo a no más de 1 ζ para evitar su daño. Entonces, se seleccionó la tasa más baja para tener la corriente de carga deseada y con la cual podamos cargar nuestro paquete sin dañarlo, esto se puede calcular mediante la ecuación (4), con lo que se obtiene que:

$$\text{Corriente de carga máxima} = (0.2) * (3600\text{mAh}/1000) \dots\dots\dots (4)$$

Corriente de carga máxima= 720mA = I_{REG}

Una vez determinada la corriente de carga se prosigue a condicionar el circuito para garantizar que la corriente que debe proporcionar sea de 720mA. Este acondicionamiento se realiza aplicando la ecuación (3), sustituyendo valores se tiene que:

$$R_{\text{Prog}} = (13.2 - 11 \cdot I_{\text{Reg}}) / (12 \cdot I_{\text{Reg}} - 1.2) = 709\Omega$$

Una vez utilizada esta ecuación tendremos el valor de la resistencia que se necesitara para que el circuito nos proporcione la corriente deseada.

(8) THREF- Es la referencia de voltaje para polarizar un termistor externo que supervisa la temperatura de la batería. Un voltaje de referencia de 2.5 V es entregado por esta terminal para manejar el termistor. Para tal fin, se lleva a cabo una comparación de ventana entre dos valores de umbral VTHREF/2 y VTHREF/4, ver hoja de datos.

(9) THERM- Es la entrada de señal de un termistor que monitorea continuamente la temperatura de la batería. Para tal fin el circuito constantemente compara el voltaje entre ésta terminal y VSS y los relaciona con el valor alto y bajo de temperatura aceptable. Se pueden generar estos voltajes a través de sensores de tipo NTC o PTC que tienen coeficientes positivos y negativos de temperatura respectivamente y apoyados en un voltaje de referencia propio disponible en la terminal THREF, cabe mencionar que este voltaje es inmune a variaciones en la fuente de alimentación VDD. Cuando VDD se llega a desconectar por alguna razón, también el voltaje de referencia deja de funcionar con el fin de minimizar la descarga de la batería.

En la figura 11 se muestra una conexión típica del MCP73861 encapsulado QFN para el monitoreo de temperatura.

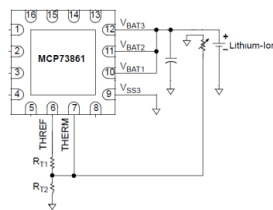


Figura 11. Conexión típica del elemento térmico

Para el termistor tipo NTC seleccionado, el valor de las resistencias RT1 y RT2, se calculan con las ecuaciones (5) y (6).

$$RT1 = \frac{2 \times R_{\text{COLD}} \times R_{\text{HOT}}}{R_{\text{COLD}} - R_{\text{HOT}}} \dots\dots\dots(5)$$

$$RT2 = \frac{2 \times RCOLD \times RHOT}{RCOLD - 3RHOT} \dots\dots\dots (6)$$

En donde R_{COLD} y R_{HOT} son los valores de resistencia del termistor a la temperatura de interés alta y baja.

Como nota de interés es importante considerar que cuando en la terminal THERM se tiene un voltaje aproximado a $V_{THREF}/3$ se deshabilita el monitoreo de temperatura.

Para el termistor seleccionado se tiene que:

$$R_{HOT}=2.1K\Omega$$

$$R_{COLD}=15K\Omega$$

$$T_{25}=10K\Omega \text{ a } 25^{\circ}C$$

$$\text{Por lo tanto } R_{T2}=6.6K\Omega, R_{T1}=4.6K\Omega$$

Con estos valores de resistencias se asegura que el circuito funcione en el intervalo de operación seleccionado, para variaciones de temperatura dentro del intervalo seleccionado. Cuando la temperatura aumenta, el voltaje en la terminal VTHERM disminuye y puede llegar a ser menor a un valor típico de 0.63V y el circuito deja de cargar, por otro lado, cuando la temperatura disminuye el voltaje aumenta y puede ser mayor a un valor típico de 1.25V y también se deja de cargar.

A temperatura ambiente el voltaje VTHERM es de 0.94V (operación normal), a 0°C el voltaje es de 1.16V (no supera los 1.25v de “upper trip threshold” y opera normalmente) y a 47°C el voltaje es de 0.6V (marca falla por ser menor a 0.62 del “ lower trip threshold”).

(10)TIMER- Todos los temporizadores de seguridad son escalables por $C_{TIMER}/0.1\mu F$. Para ésta entrada de programación de periodo de tiempo, es necesario colocar un capacitor C_{TIMER} entre esta terminal y V_{SS} para ajustar el periodo en el circuito integrado. Con este capacitor C_{TIMER} , se programan 3 tiempos de seguridad a la vez. Estos tiempos son, el periodo de tiempo de seguridad de pre-acondicionamiento, el periodo de tiempo de seguridad de carga-rápida y el periodo de terminación por tiempo-transcurrido. La forma de calcularlos se muestran en las ecuaciones (7), (8) y (9) respectivamente.

$$t_{PRECON} = \frac{C_{TIMER}}{0.1\mu F} \times 1.0 \text{ HORAS} \dots\dots\dots (7)$$

$$t_{FAST} = \frac{C_{TIMER}}{0.1\mu F} \times 1.5 \text{ HORAS} \dots\dots\dots (8)$$

$$t_{TERM} = \frac{CTIMER}{0.1\mu F} \times 3 \text{ HORAS} \dots\dots\dots (9)$$

Seleccionando un capacitor de 0.1μF se tendrá:

$$t_{PRECON} = 1 \text{ HORA}$$

$$t_{FAST} = 1.5 \text{ HORAS}$$

$$t_{TERM} = 3 \text{ HORAS}$$

El tiempo de preacondicionamiento empieza después de evaluar el estado de la batería y se reinicializa cuando el ciclo de carga pasa al estado de carga rápida (modo de corriente constante). El temporizador de carga rápida y el tiempo de terminación empiezan una vez que el integrado termina su tiempo de preacondicionamiento, a su vez el tiempo de carga rápida se restablece cuando el ciclo de carga cambia al modo de voltaje constante. Por su parte, el contador de tiempo de terminación finaliza la carga solamente si el sensor de corriente no detecta disminución de esta por debajo de la corriente límite (I_{TERM}), puede ir desde 8.5mA cuando la terminal PROG está flotando, hasta los 90mA cuando esta misma terminal se conecta a V_{SS} , pasando por 41mA si a la terminal PROG se le conecta una resistencia de programación del orden de 1.6KΩ. Es importante comentar que durante la regulación térmica el temporizador se hace más lento de forma proporcional a la corriente de carga.

(12,13) V_{BAT1}, V_{BAT2} Son salidas y se conectan a la terminal positiva de la batería en estudio, es la terminal de drenaje del transistor interno de paso canal P- MosFet. El circuito integrado provee corriente constante y regulación de voltaje mediante el control de la zona lineal de este transistor MosFet. Es necesario colocar un capacitor de bypass de 4.7μF para asegurar la estabilidad de lazo al desconectar la batería.

(14) V_{BAT3} Es una entrada que detecta voltaje, igual que las terminales anteriores, se debe conectar al positivo de la batería en estudio. Una resistencia interna de precisión regula el voltaje final en esta terminal a un valor V_{REG} .

(16)EN- Es una entrada que obliga a la terminación de carga, a iniciar la carga o deshabilitar la carga automáticamente. Si el nivel lógico en esta terminal es alto el circuito se activa, si por el contrario la terminal se envía a un nivel lógico bajo el circuito se desactiva por lo que se termina el ciclo de carga. Cuando esta desactivado la corriente de reposo es del orden de 0.17μA

(17) EP- Terminal interna disponible sólo en encapsulados QFN y se debe soldar al negativo del PCB.

Pero nuestro acondicionamiento no termina aquí, como se había mencionado, el circuito no inicia su operación si se encuentra por debajo del umbral de voltaje que trae por default y si la temperatura se encuentra elevada. Para el sensado de la temperatura se utiliza una resistencia de coeficiente de temperatura negativo (NTC) o termistor de un valor de 10K a 25°C. En la figura 12 se muestra una curva de respuesta típica de un termistor NTC y un PTC para comparación.

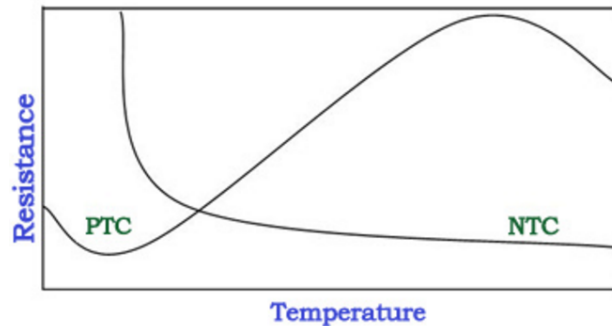


Figura 12. Comportamiento típico de sensores de temperatura comerciales

7 Resultados

Para poder realizar pruebas y comprobar que los circuitos funcionan correctamente, primero se procedió a construir un circuito acondicionado del voltaje de la línea, de tal forma que se pudieran alimentar los circuitos antes mencionados.

El diseño de este circuito, que funciona como fuente de alimentación, se encuentra conformado por un transformador que permite reducir el voltaje de la línea de 127VAC y transformarlo a 12VAC con una corriente de 2A.

La decisión de utilizar un transformador de 127VAC a 12V/2A, es debido a que como ya se vio anteriormente, con un voltaje de salida de 10V sería más que suficiente para alimentar los circuitos diseñados, pero comercialmente los transformadores de 12V están más disponibles para su adquisición, por otro lado, utilizar un transformador de mucho mayor voltaje a la salida, ocasionaría un sobrecalentamiento en los reguladores de voltaje empleados, debido a la disipación de potencia necesaria para bajar la tensión al valor requerido. Por otro lado, la corriente seleccionada para el transformador (2A), es la necesaria para cumplir la demanda de 720mA requerida en el diseño del cargador, se consideró un factor de seguridad para evitar el sobrecalentamiento de este componente, dado que estará funcionando por tiempo prolongado durante todo un ciclo de carga y más, si se requieren cargar otras baterías.

Como es del conocimiento general en el área, la mayoría de los dispositivos semiconductores, como es el caso del circuito utilizado para el diseño del cargador, funcionan con señal de alimentación de tipo continua, esto es, tensión Vcc. Por lo mismo, es necesario transformar la señal de la línea de corriente alterna (AC) a corriente directa (DC), filtrarla y después regularla;

para ello se utilizó el transformador, el puente de diodos, los capacitores y el regulador de voltaje. En la figura 13, se puede ver el arreglo de diodos que forman el puente rectificador encargado de convertir la onda de voltaje entregada por el transformador a su salida, en una señal rectificada, el filtro conformado por el arreglo de capacitores, para disminuir el rizo de voltaje antes de ser inyectado al regulador de tensión, el cual finalmente entregará un nivel de voltaje de corriente continua con el valor necesario (V_{cc}), a la salida final de este circuito, se han agregado dos capacitores más para disminuir las componentes de alta frecuencia que se pudieran colar por la línea.

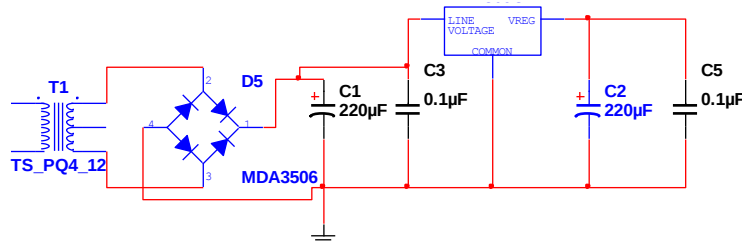


Figura 13 Diagrama de la fuente de alimentación utilizada

Una vez que se tiene la fuente de alimentación, esta es conectada al circuito cargador, el cual se encargará de dosificar la corriente necesaria a la batería para lograr una carga completa y sin riesgo de dañar la batería de litio en estudio, en la figura 14 se muestra el circuito completo.

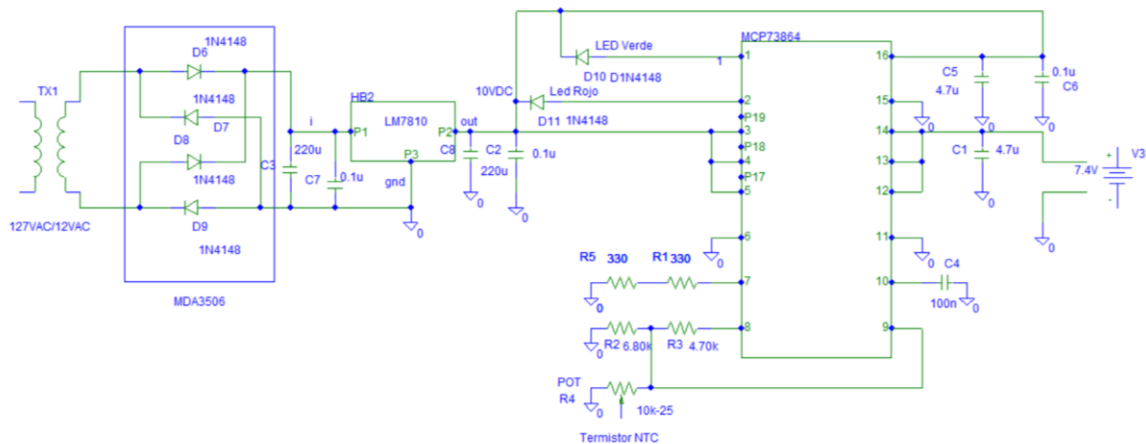


Figura 14. Diagrama general del circuito cargador

7.1 Descarga de la batería para pruebas

Para realizar las pruebas de carga con la batería seleccionada, en primer lugar se hace necesario descargar la batería de tal forma que se logre tener en ella un voltaje cercano al mínimo permitido, para ello se realizó una descarga demandándole una corriente de 300mA para acelerar el proceso. La gráfica de la figura 15 muestra como la batería se fué descargando paulatinamente desde un potencial inicial de 8.036V hasta 6,07V y a partir de ese punto la descarga se aceleró de tal forma que en un lapso pequeño de tiempo el voltaje cae hasta los 5,5V, valor que corresponde al mínimo de voltaje permitido antes de que se dañe la batería. Con esto, se pudo verificar que la curva de descarga se acerca mucho a las reportadas por el fabricante de este tipo de baterías.

Después de descargar la batería, se prosiguió a realizar una nueva carga con dicha batería con el circuito cargador diseñado, en este caso empleando el circuito MCP73864.

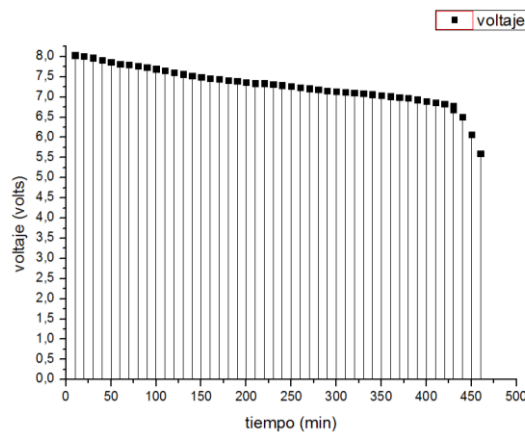


Figura 15. Gráfica de descarga de la batería LIPO seleccionada.

En la figura 15, se puede ver que la batería es llevada hasta una descarga profunda y para ello fue necesario que transcurriera un tiempo aproximado de 7.6 horas lo cual comprueba las predicciones que se tuvieron al principio, ya que, si al demandarle 300mA duró cerca de 8 horas, entonces al demandarle 100mA por ser menor la demanda, se puede esperar que puede durar más de 8 horas. El método utilizado para obtener la grafica de la figura 15 fue punto a punto de forma manual, para lo cual se colocó en las terminales de la batería una carga que demandara 100mA tomándose lecturas de voltaje cada determinado tiempo hasta que se concluyo la descarga.

Dado que el proceso anterior es muy laborioso se procedió a automatizar el monitoreo para futuras pruebas de carga/descarga; para esto se utilizó una tarjeta A/D de National Instrument (NI), la cual se conectó a una computadora. En la computadora mencionada, se graficó de manera automática el proceso antes realizado manualmente; para este fin, se diseñó un programa de tal forma que se pudiera tener comunicación con la tarjeta mediante uno de sus puertos USB y a su vez, desplegar los datos en el monitor de la misma computadora.

Para monitorear la señal de voltaje de la batería y así poder automatizar la toma de lecturas, de tal forma que se pudiera dar una interpretación de la señal obtenida, fue necesario presentar en el monitor de la computadora la gráfica de voltaje contra tiempo de la señal, para esto, se diseñó un programa en Labview. Este programa además de la comunicación, nos permite observar el comportamiento de la señal de voltaje en tiempo real.

Después de realizar las conexiones necesarias, con la finalidad de visualizar la descarga de la batería de forma automática y utilizando una carga diferente, se conectó la batería en estudio para visualizar su descarga, la cual puede ser observada en la grafica de la figura 16, se puede ver que se alcanzó un tiempo aproximado de descarga de 8 hrs.

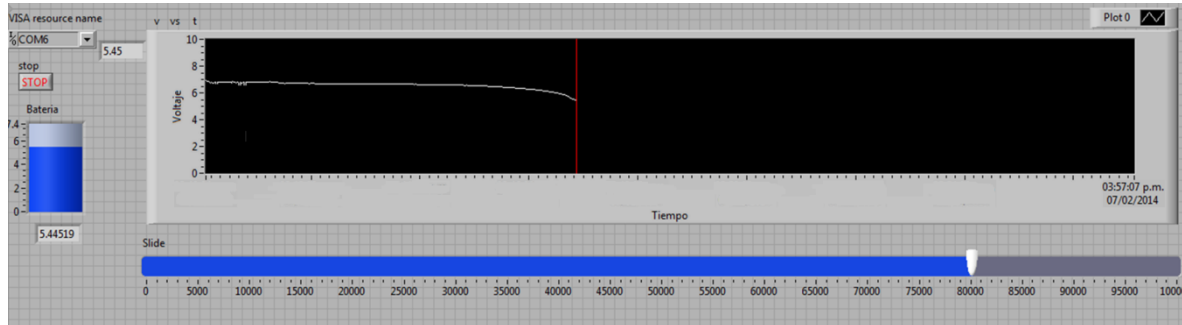


Figura 16. Pantalla de LabView para monitoreo de carga descarga de la batería

7.1 Pruebas de carga de la batería

En las figuras 17 a 19 se muestran diferentes gráficas del comportamiento del cargador en diferentes etapas del ciclo de carga. En la figura 17 se muestra el inicio de la carga, se puede ver la forma de onda presente en las terminales de la batería y muestra como se carga por medio de pulsos de corriente que cambian entre 60mA y 450mA, lo cual es correcto ya que con esto se puede ver que se cumplen los requerimientos de la carga de la batería especificados por el fabricante y que corresponde a la recomendación de cargar esta batería a una tasa de 0.2 C, dado lo anterior podemos estar seguros de no dañar la pila dado que nos encontramos dentro del intervalo recomendado.

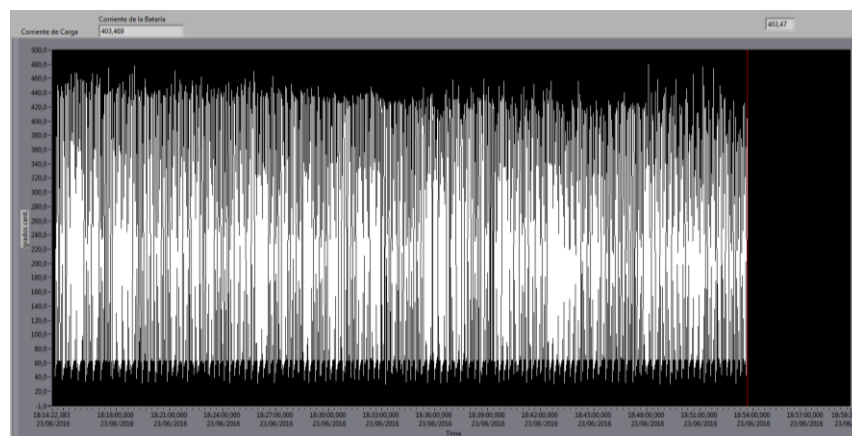


Figura 17. Pantalla de LabView que muestra la carga de la batería

Después de aproximadamente 5 horas, el modo de carga cambia a modo de voltaje constante, lo cual se puede apreciar en la figura 18, en este punto se puede ver que la corriente empieza a disminuir conforme pasa el tiempo, dado que el voltaje en la batería eleva su valor. En la misma figura 18 se puede apreciar la forma en la que la corriente se hace cero cuando la temperatura medida en la batería sobrepasa los 50°C y posteriormente se observa el momento en el que

retorna a una temperatura aceptable e inicia nuevamente la carga de la batería (este hecho fue provocado, calentando el termistor para muestra de funcionamiento).

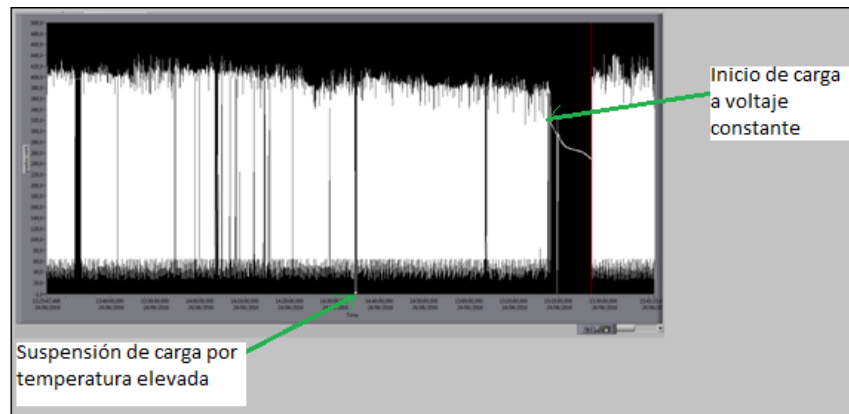


Figura 18. Gráfica que muestra diferentes etapas del proceso de carga de la batería

Finalmente, 1 hora después, se logra la carga de la batería completa, se puede observar cómo se apaga el cargador dejando de suministrar corriente y voltaje a la batería. Esto se puede ver en la figura 19.

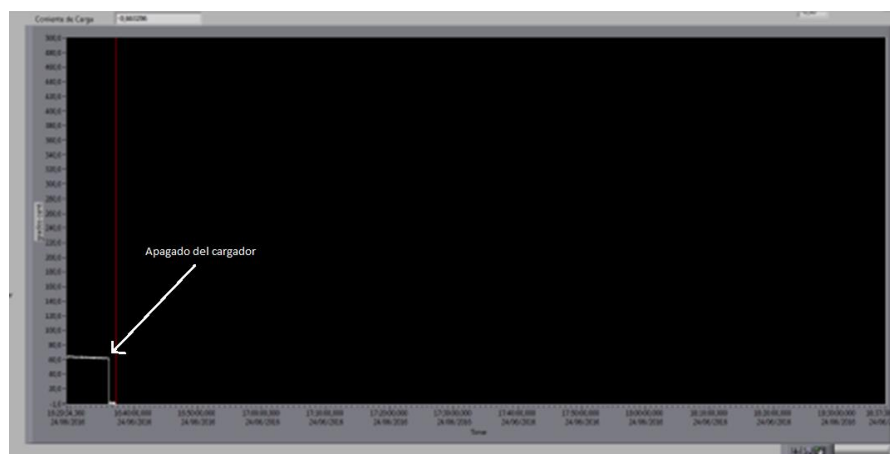


Figura 19. Gráfica que muestra el fin de carga de la batería

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas podemos concluir que el cargador construido presenta buenos resultados ya que cumple con los objetivos planteados en un inicio, la carga de la batería seleccionada se logró de manera adecuada, evitando calentamientos peligrosos y en un tiempo de carga aceptable.

APENDICE A (HOJA DE DATOS)
MCP73864



MCP73861/2/3/4

Advanced Single or Dual Cell, Fully Integrated Li-Ion/Li-Polymer Charge Management Controllers

Features:

- Linear Charge Management Controllers:
 - Integrated Pass Transistor
 - Integrated Current Sense
 - Reverse-Blocking Protection
- High-Accuracy Preset Voltage Regulation: $\pm 0.5\%$
- Four Selectable Voltage Regulation Options:
 - 4.1V, 4.2V – MCP73861/3
 - 8.2V, 8.4V – MCP73862/4
- Programmable Charge Current: 1.2A Maximum
- Programmable Safety Charge Timers
- Preconditioning of Deeply Depleted Cells
- Automatic End-of-Charge Control
- Optional Continuous Cell Temperature Monitoring
- Charge Status Output for Direct LED Drive
- Fault Output for Direct LED Drive
- Automatic Power-Down
- Thermal Regulation
- Temperature Range: -40°C to +85°C
- Packaging: 16-Pin, 4 x 4 QFN
16-Pin SOIC

Applications:

- Lithium-Ion/Lithium-Polymer Battery Chargers
- Personal Data Assistants (PDAs)
- Cellular Telephones
- Hand-Held Instruments
- Cradle Chargers
- Digital Cameras
- MP3 Players

Description:

The MCP7386X family of devices features highly advanced linear charge management controllers for use in space-limited, cost-sensitive applications. The devices combine high-accuracy, constant voltage and current regulation, cell preconditioning, cell temperature monitoring, advanced safety timers, automatic charge termination, internal current sensing, reverse-blocking protection, charge status and fault indication in either a space-saving 16-pin 4 x 4 QFN package, or a 16-pin SOIC package. The MCP7386X provides a complete, fully functional, stand-alone charge management solution with a minimum number of external components.

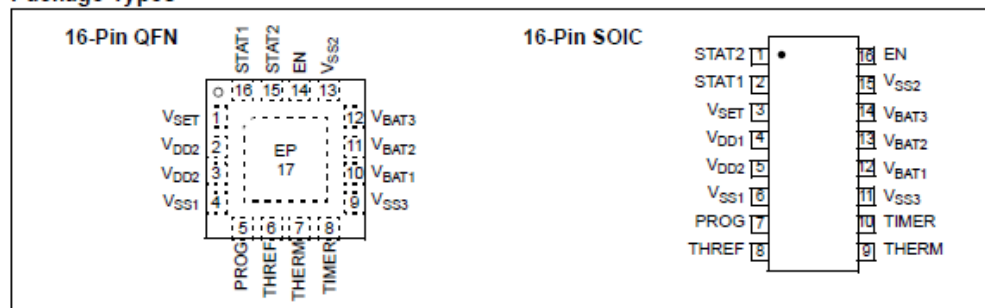
The MCP73861/3 is intended for applications utilizing single-cell Lithium-Ion or Lithium-Polymer battery packs, while the MCP73862/4 is intended for dual series cell Lithium-Ion or Lithium-Polymer battery packs. The MCP73861/3 has two selectable voltage-regulation options available (4.1V and 4.2V), for use with either coke or graphite anodes and operate with an input voltage range of 4.5V to 12V. The MCP73862/4 has two selectable voltage-regulation options available (8.2V and 8.4V), for use with coke or graphite anodes, and operate with an input voltage range of 8.7V to 12V.

The MCP73861/2 and MCP73863/4 differ only in the function of the charge status output (STAT1) when a charge cycle has been completed. The MCP73861/2 flashes the output, while the MCP73863/4 turns the output off. Refer to [Section 5.2.1 "Charge Status Outputs \(STAT1, STAT2\)"](#).

The MCP7386X family of devices are fully specified over the ambient temperature range of -40°C to +85°C.

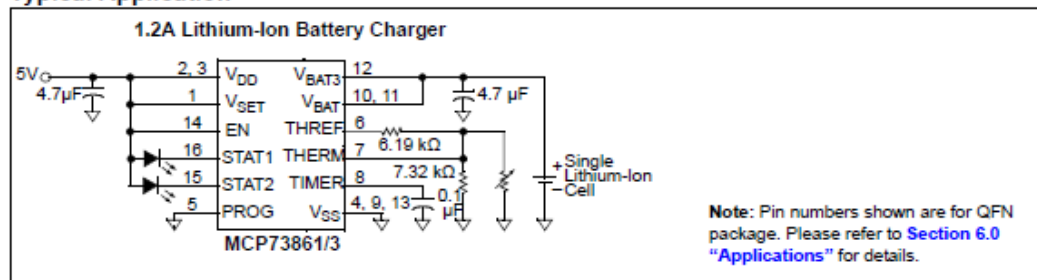
MCP73861/2/3/4

Package Types

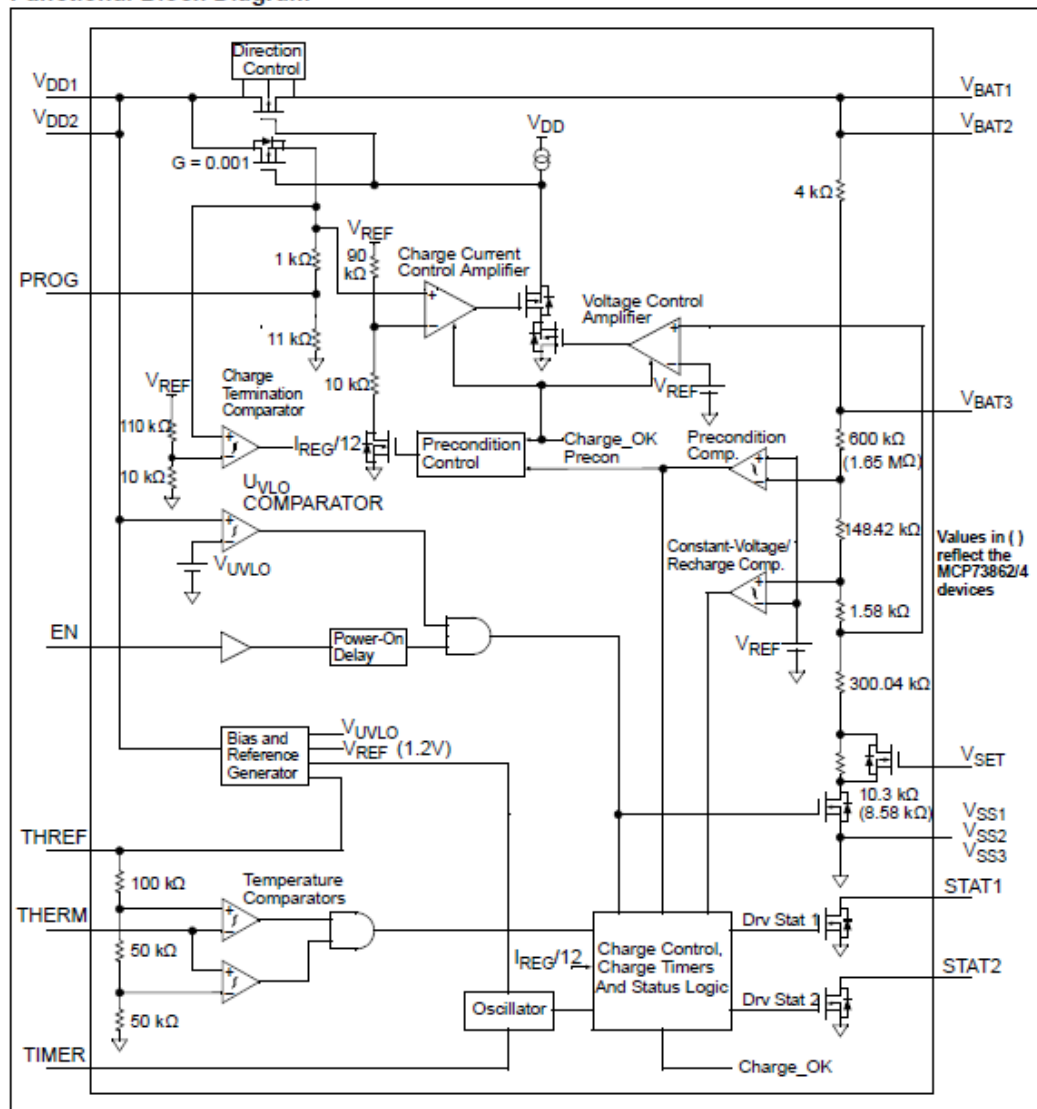


MCP73861/2/3/4

Typical Application



Functional Block Diagram



MCP73861/2/3/4

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

V _{DDN}	13.5V
V _{BATN} , V _{SET} , EN, STAT1, STAT2 w.r.t. V _{SS}	-0.3 to (V _{DD} + 0.3)V
PROG, THREF, THERM, TIMER w.r.t. V _{SS}	-0.3 to 8V
Maximum Junction Temperature, T _J	Internally Limited
Storage temperature.....	-65°C to +150°C
ESD protection on all pins:	
Human Body Model (1.5 kΩ in series with 100 pF).....	≥ 4 kV
Machine Model (200 pF, No series resistance).....	300V

† Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for V _{DD} = [V _{REG} (typ.) + 0.3V] to 12V, T _A = -40°C to +85°C. Typical values are at +25°C, V _{DD} = [V _{REG} (typ.) + 1.0V]						
Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Supply Input						
Supply Voltage	V _{DD}	4.5	—	12	V	MCP73861/3
		8.7	—	12	V	MCP73862/4
Supply Current	I _{SS}	—	0.17	4	μA	Disabled
		—	0.53	4	mA	Operating
UVLO Start Threshold	V _{START}	4.25	4.5	4.65	V	MCP73861/3
		8.45	8.8	9.05	V	MCP73862/4 V _{DD} Low-to-High
UVLO Stop Threshold	V _{STOP}	4.20	4.4	4.55	V	MCP73861/3
		8.40	8.7	8.95	V	MCP73862/4 V _{DD} High-to-Low
Voltage Regulation (Constant-Voltage Mode)						
Regulated Output Voltage	V _{REG}	4.079	4.1	4.121	V	MCP73861/3, V _{SET} = V _{SS}
		4.179	4.2	4.221	V	MCP73861/3, V _{SET} = V _{DD}
		8.159	8.2	8.241	V	MCP73862/4, V _{SET} = V _{SS}
		8.358	8.4	8.442	V	MCP73862/4, V _{SET} = V _{DD} V _{DD} = [V _{REG} (typ.) + 1V], I _{OUT} = 10 mA T _A = -5°C to +55°C
Line Regulation	$\frac{ \Delta V_{BAT}/V_{BAT} }{\Delta V_{DD}}$	—	0.025	0.25	%/V	V _{DD} = [V _{REG} (typ.)+1V] to 12V I _{OUT} = 10 mA
Load Regulation	$\frac{ \Delta V_{BAT}/V_{BAT} }{\Delta I_{OUT}}$	—	0.01	0.25	%	I _{OUT} = 10 mA to 150 mA V _{DD} = [V _{REG} (typ.)+1V]
Supply Ripple Attenuation	PSRR	—	60	—	dB	I _{OUT} = 10 mA, 10 Hz to 1 kHz
		—	42	—	dB	I _{OUT} = 10 mA, 10 Hz to 10 kHz
		—	28	—	dB	I _{OUT} = 10 mA, 10 Hz to 1 MHz
Output Reverse Leakage Current	I _{DISCHARGE}	—	0.23	1	μA	V _{DD} < V _{BAT} = V _{REG} (typ.), V _{DD} = 1.5 kΩ to Ground
Output Reverse Leakage Switchover Time	I _{DISCHARGE SW}	—	0	1000	ms	V _{DD} < V _{BAT} , V _{DD} <= 1.5 kΩ to Ground

MCP73861/2/3/4

DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 0.3V]$ to 12V, $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$. Typical values are at $+25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1.0V]$						
Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Current Regulation (Fast Charge Constant-Current Mode)						
Fast Charge Current Regulation	I_{REG}	85	100	115	mA	PROG = OPEN
		1020	1200	1380	mA	PROG = V_{SS}
		425	500	575	mA	PROG = 1.8 k Ω $T_A = -5^{\circ}\text{C}$ to $+55^{\circ}\text{C}$
Preconditioning Current Regulation (Trickle Charge Constant-Current Mode)						
Precondition Current Regulation	I_{PREG}	5	10	15	mA	PROG = OPEN
		60	120	180	mA	PROG = V_{SS}
		25	50	75	mA	PROG = 1.8 k Ω $T_A = -5^{\circ}\text{C}$ to $+55^{\circ}\text{C}$
Precondition Threshold Voltage	V_{PTH}	2.70	2.80	2.90	V	MCP73861/3, $V_{SET} = V_{SS}$
		2.75	2.85	2.95	V	MCP73861/3, $V_{SET} = V_{DD}$
		5.40	5.60	5.80	V	MCP73862/4, $V_{SET} = V_{SS}$
		5.50	5.70	5.90	V	MCP73862/4, $V_{SET} = V_{DD}$ V_{BAT} Low-to-High
Charge Termination						
Charge Termination Current	I_{TERM}	6	8.5	11	mA	PROG = OPEN
		70	90	120	mA	PROG = V_{SS}
		32	41	50	mA	PROG = 1.8 k Ω $T_A = -5^{\circ}\text{C}$ to $+55^{\circ}\text{C}$
Automatic Recharge						
Recharge Threshold Voltage	V_{RTH}	$V_{REG} - 300\text{ mV}$	$V_{REG} - 200\text{ mV}$	$V_{REG} - 100\text{ mV}$	V	MCP73861/3
		$V_{REG} - 600\text{ mV}$	$V_{REG} - 400\text{ mV}$	$V_{REG} - 200\text{ mV}$	V	MCP73862/4 V_{BAT} High-to-Low
Thermistor Reference						
Thermistor Reference Output Voltage	V_{THREF}	2.475	2.55	2.625	V	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = V_{REG}(typ.) + 1V$, $I_{THREF} = 0\text{ mA}$
Thermistor Reference Source Current	I_{THREF}	200	—	—	μA	
Thermistor Reference Line Regulation	$(\Delta V_{THREF} / V_{THREF}) / \Delta V_{DD}$	—	0.1	0.25	%/V	$V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1V]$ to 12V
Thermistor Reference Load Regulation	$ \Delta V_{THREF} / V_{THREF} $		0.01	0.10	%	$I_{THREF} = 0\text{ mA}$ to 0.20 mA
Thermistor Comparator						
Upper Trip Threshold	V_{T1}	1.18	1.25	1.32	V	
Upper Trip Point Hysteresis	V_{T1HYS}	—	-50	—	mV	
Lower Trip Threshold	V_{T2}	0.59	0.62	0.66	V	
Lower Trip Point Hysteresis	V_{T2HYS}	—	80	—	mV	
Input Bias Current	I_{BIAS}	—	—	2	μA	
Status Indicator – STAT1, STAT2						
Sink Current	I_{SINK}	4	8	12	mA	
Low Output Voltage	V_{OL}	—	200	400	mV	$I_{SINK} = 1\text{ mA}$
Input Leakage Current	I_{LK}	—	0.01	1	μA	$I_{SINK} = 0\text{ mA}$, $V_{STAT1,2} = 12V$

MCP73861/2/3/4

DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 0.3V]$ to 12V, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$. Typical values are at $+25^{\circ}C$, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1.0V]$						
Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Enable Input						
Input High Voltage Level	V_{IH}	1.4	—	—	V	
Input Low Voltage Level	V_{IL}	—	—	0.8	V	
Input Leakage Current	I_{LK}	—	0.01	1	μA	$V_{ENABLE} = 12V$
Thermal Shutdown						
Die Temperature	T_{SD}	—	155	—	$^{\circ}C$	
Die Temperature Hysteresis	T_{SDHYS}	—	10	—	$^{\circ}C$	

AC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 0.3V]$ to 12V, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$. Typical values are at $+25^{\circ}C$, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1.0V]$						
Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
UVLO Start Delay	t_{START}	—	—	5	ms	V_{DD} Low-to-High
Current Regulation						
Transition Time Out of Preconditioning	t_{DELAY}	—	—	1	ms	$V_{BAT} < V_{PTH}$ to $V_{BAT} > V_{PTH}$
Current Rise Time Out of Preconditioning	t_{RISE}	—	—	1	ms	I_{OUT} Rising to 90% of I_{REG}
Fast Charge Safety Timer Period	t_{FAST}	1.1	1.5	1.9	Hours	$C_{TIMER} = 0.1 \mu F$
Preconditioning Current Regulation						
Preconditioning Charge Safety Timer Period	t_{PRECON}	45	60	75	Minutes	$C_{TIMER} = 0.1 \mu F$
Charge Termination						
Elapsed Time Termination Period	t_{TERM}	2.2	3	3.8	Hours	$C_{TIMER} = 0.1 \mu F$
Status Indicators						
Status Output turn-off	t_{OFF}	—	—	200	μs	$I_{SINK} = 1 \text{ mA to } 0 \text{ mA}$
Status Output turn-on	t_{ON}	—	—	200	μs	$I_{SINK} = 0 \text{ mA to } 1 \text{ mA}$

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 0.3V]$ to 12V. Typical values are at $+25^{\circ}C$, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1.0V]$						
Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}C$	
Operating Temperature Range	T_J	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 16-lead, 4 mm x 4 mm QFN	θ_{JA}	—	47	—	$^{\circ}C/W$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection
Thermal Resistance, 16-lead SOIC	θ_{JA}	—	86.1	—	$^{\circ}C/W$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note: The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

NOTE: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$, Constant-voltage mode.

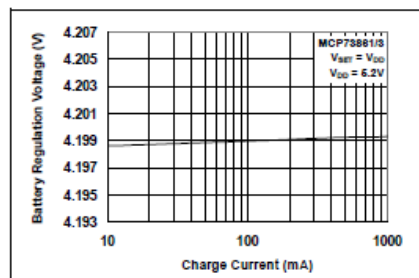


FIGURE 2-1: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

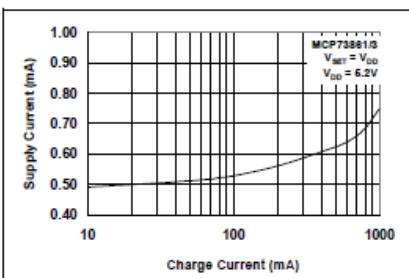


FIGURE 2-4: Supply Current (I_{SS}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

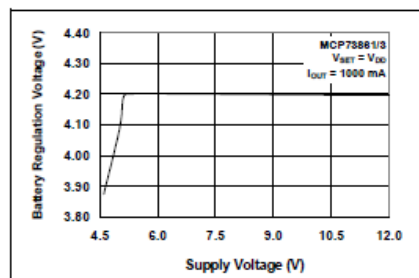


FIGURE 2-2: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

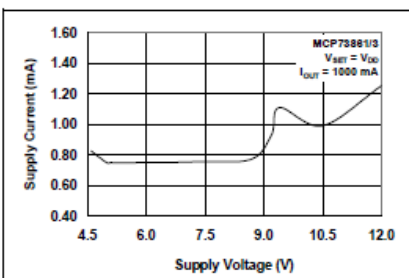


FIGURE 2-5: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

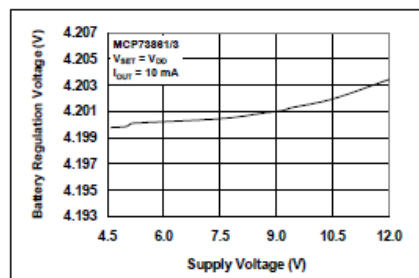


FIGURE 2-3: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

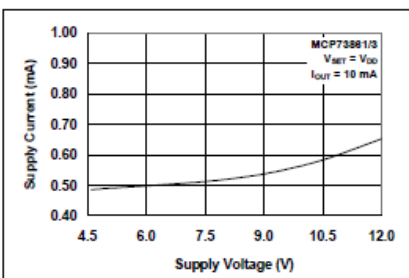


FIGURE 2-6: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

MCP73861/2/3/4

NOTE: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$, Constant-voltage mode.

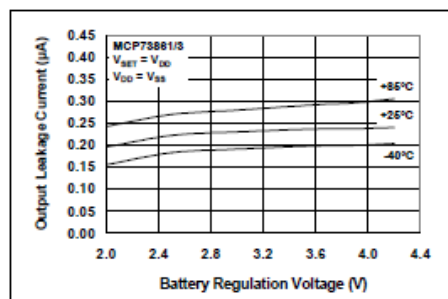


FIGURE 2-7: Output Leakage Current ($I_{DISCHARGE}$) vs. Battery Regulation Voltage (V_{BAT}).

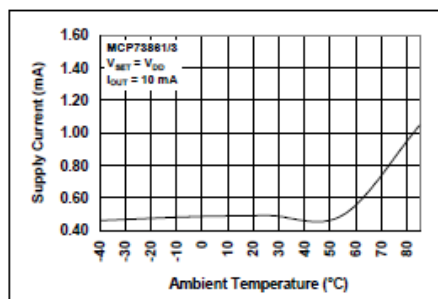


FIGURE 2-10: Supply Current (I_{SS}) vs. Ambient Temperature (T_A).

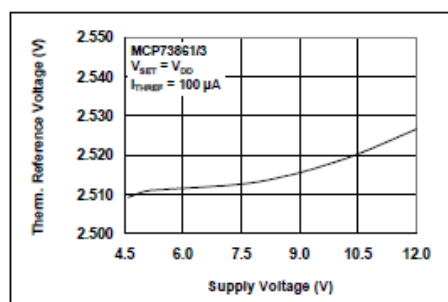


FIGURE 2-8: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

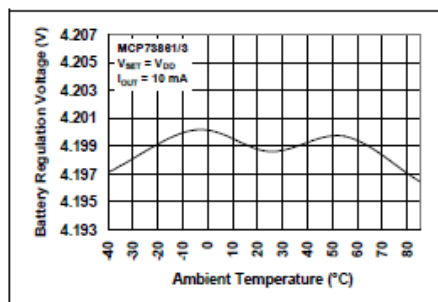


FIGURE 2-11: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Ambient Temperature (T_A).

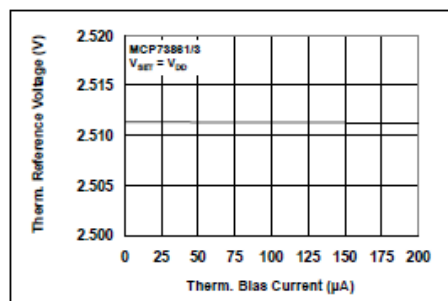


FIGURE 2-9: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Thermistor Bias Current (I_{THREF}).

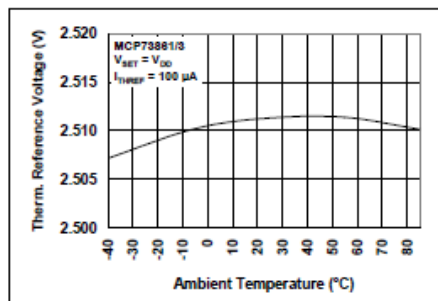


FIGURE 2-12: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Ambient Temperature (T_A).

MCP73861/2/3/4

NOTE: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$, Constant-voltage mode.

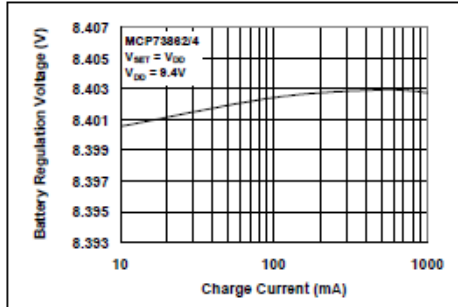


FIGURE 2-13: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

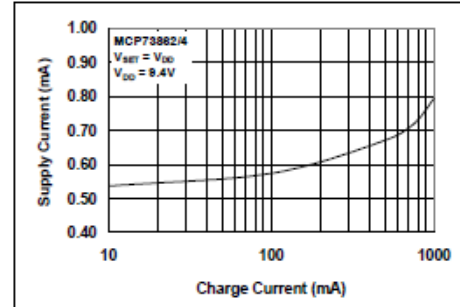


FIGURE 2-16: Supply Current (I_{SS}) vs. Charge Current (I_{OUT}).

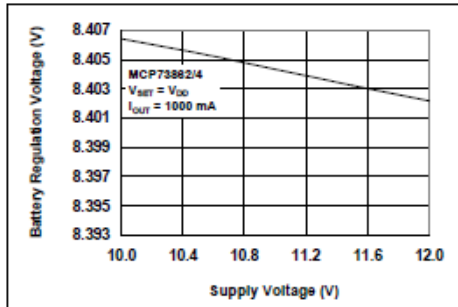


FIGURE 2-14: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

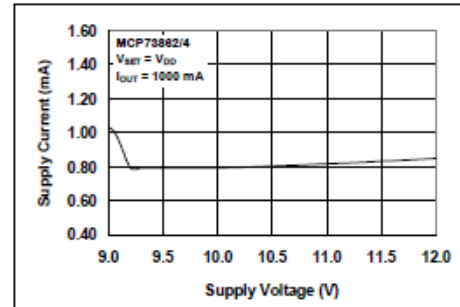


FIGURE 2-17: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

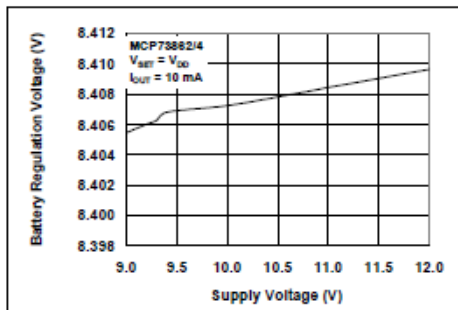


FIGURE 2-15: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

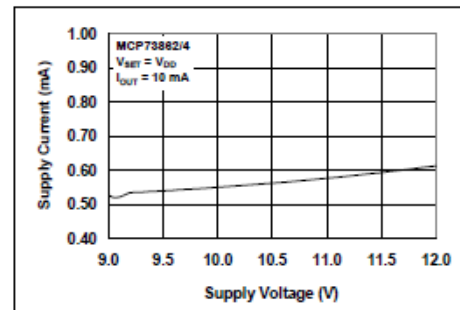


FIGURE 2-18: Supply Current (I_{SS}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

MCP73861/2/3/4

NOTE: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$, Constant-voltage mode.

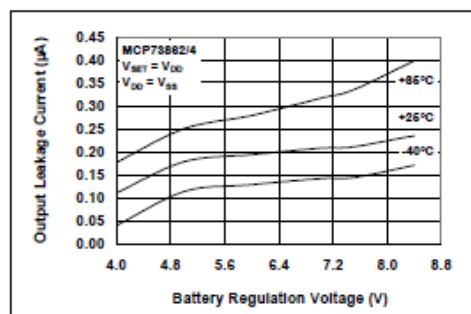


FIGURE 2-19: Output Leakage Current ($I_{DISCHARGE}$) vs. Battery Regulation Voltage (V_{BAT}).

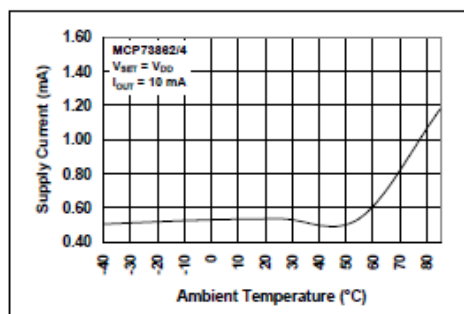


FIGURE 2-22: Supply Current (I_{SS}) vs. Ambient Temperature (T_A).

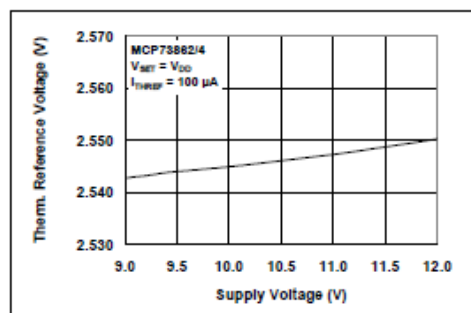


FIGURE 2-20: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Supply Voltage (V_{DD}).

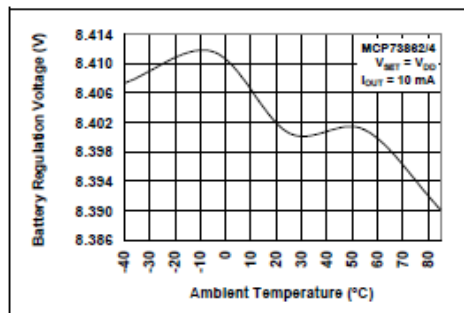


FIGURE 2-23: Battery Regulation Voltage (V_{BAT}) vs. Ambient Temperature (T_A).

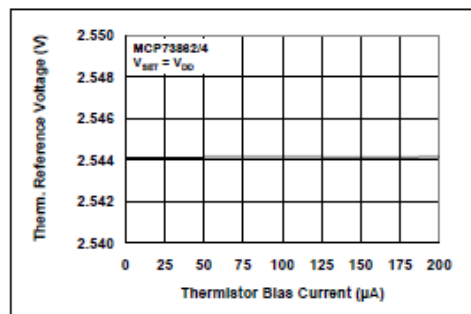


FIGURE 2-21: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Thermistor Bias Current (I_{THREF}).

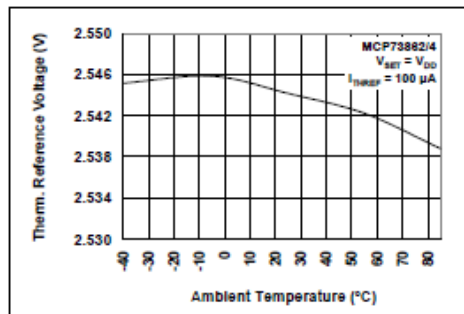


FIGURE 2-24: Thermistor Reference Voltage (V_{THREF}) vs. Ambient Temperature (T_A).

MCP73861/2/3/4

NOTE: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$, Constant-voltage mode.

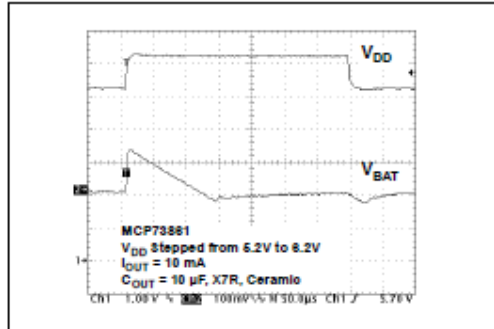


FIGURE 2-25: Line Transient Response.

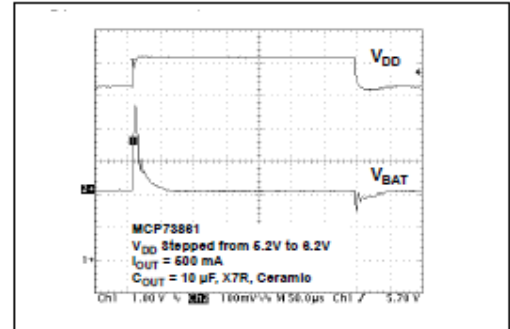


FIGURE 2-28: Line Transient Response.

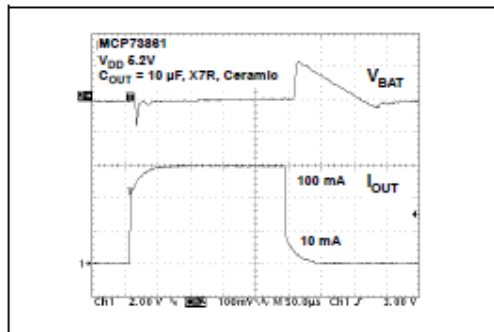


FIGURE 2-26: Load Transient Response.

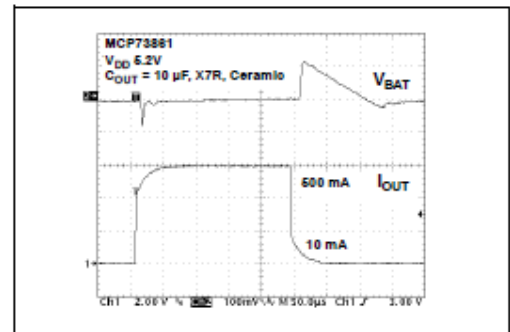


FIGURE 2-29: Load Transient Response.

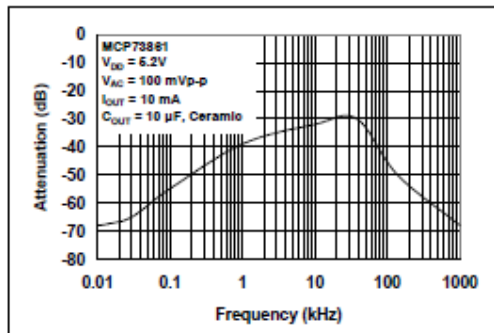


FIGURE 2-27: Power Supply Ripple Rejection.

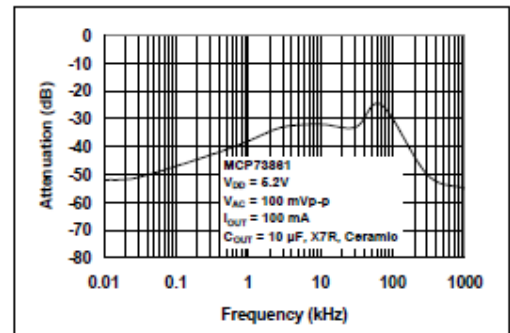


FIGURE 2-30: Power Supply Ripple Rejection.

MCP73861/2/3/4

NOTE: Unless otherwise indicated, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1V]$, $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$, Constant-voltage mode.

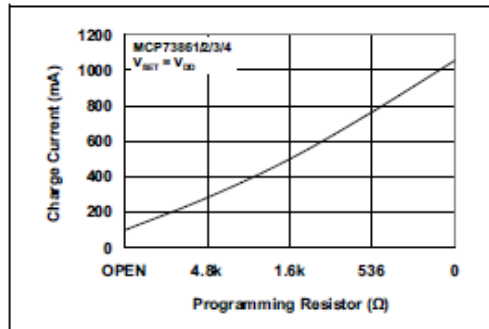


FIGURE 2-31: Charge Current (I_{OUT}) vs. Programming Resistor (R_{PROG}).

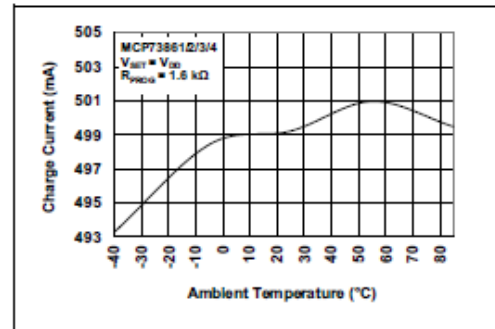


FIGURE 2-32: Charge Current (I_{OUT}) vs. Ambient Temperature (T_A).

Hoja de datos de fabricante de baterías



BBCV2.MH29381 Lithium Batteries - Component

[Page Bottom](#)

Lithium Batteries - Component

[See General Information for Lithium Batteries - Component](#)

YOKU ENERGY (ZHANG ZHOU) CO LTD
WANLIDA INDUSTRIAL ZONE
NANJING
ZHANGZHOU, FUJIAN 363000 CHINA

MH29381

Model	Secondary Type ^(b)	Max Charging Current (I _c), mA	Max Charging Voltage, V dc ^(e)	Test Compliance ^(f)
polypower 6500mAh	Lithium polymer	6500	4.8	3
polypower 4500mAh	Lithium polymer	4500	4.8	3
polypower 3000mAh	Lithium polymer	3000	4.8	3
polypower 2450mAh	Lithium polymer	2450	4.8	3
Yoku 3800mAh, 7836140	Lithium polymer	3800	4.8	3
Yoku 3500mAh, 0548135, 6435146	Lithium polymer	3500	4.8	3
Yoku 40mAh, 065490	Lithium polymer	120	4.8	1
Yoku 120mAh, 041235	Lithium polymer	240	4.8	1
Yoku 285mAh, 472527	Lithium polymer	570	4.8	1
Yoku 330mAh, 042340	Lithium polymer	660	4.8	1
Yoku 330mAh, 042436	Lithium polymer	660	4.8	1
Yoku 440mAh, 062043	Lithium polymer	880	4.8	1
Yoku 500mAh, 652833	Lithium polymer	1000	4.8	1
Yoku 500mAh, 053037	Lithium polymer	1000	4.8	1
Yoku 640mAh, 433048	Lithium polymer	1280	4.8	1
583040	Lithium polymer	1360	4.8	1
Yoku 680mAh, 383450	Lithium polymer	1360	4.8	1
Yoku 720mAh, 383450H	Lithium polymer	1440	4.8	1
Yoku 950mAh, 623048	Lithium polymer	1900	4.8	1
Yoku 1000mAh, 554050	Lithium polymer	2000	4.8	1
Yoku 1200mAh, 455058	Lithium polymer	2400	4.8	1
Yoku 1200mAh, 385068	Lithium polymer	2400	4.8	1
Yoku 1400mAh, 563759	Lithium polymer	2800	4.8	1
Yoku 1800mAh, 963450	Lithium polymer	3600	4.8	1
Yoku 2000mAh, 064080	Lithium polymer	4000	4.8	1
Yoku 2200mAh, 0824130	Lithium polymer	4400	4.8	1
467085	Lithium polymer	4400	4.8	1
704374	Lithium polymer	4400	4.8	1
784765	Lithium polymer	4400	4.8	1
465585	Lithium polymer	4400	4.8	1
Yoku 2300mAh, 055396	Lithium polymer	4600	4.8	1

Referencias Bibliográficas

Camacho D, (2017), **Baterías primarias y secundarias**, [Internet], Scribd, Disponible desde: <https://es.scribd.com/doc/44184578/Baterias-primarias-y-secundarias> [Acceso: enero 2017].

Carlos, (2010), **Baterías**, [Internet], bmotes, internet of things, Disponible desde: <http://www.zigbe.net/archivos/313> [Acceso: diciembre 2016].

Damián R., Hernández D., Quintana S., Hernández J., (2013), **Sistema de adquisición de datos mediante usb: Informe Técnico**. CCADET-UNAM.

Microchip, (1998), MC73864, [Internet], Applications, Disponible desde: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP73864>. [Acceso: noviembre 2016].