

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería de Telecomunicación

Diseño de un Cargador de Baterías de Litio

Autora: María del Carmen Abreu Custodio

Tutor: Jorge Chávez Orzáez

Departamento de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

Diseño de un Cargador de Baterías de Litio

Autora:

María del Carmen Abreu Custodio

Tutor:

Jorge Chávez Orzáez

Profesor titular

Departamento de Ingeniería Electrónica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2015

Proyecto Fin de Carrera: Diseño de un Cargador de Baterías de Litio

Autora: María del Carmen Abreu Custodio

Tutor: Jorge Chávez Orzáez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

A mis maestros

Agradecimientos

En primer lugar, mencionar a mi familia, en especial a mis padres, nada de esto habría sido posible sin su apoyo, sus ánimos y su paciencia, sin lugar a dudas, como siempre me dijo mi madre, “no hay mayor herencia que se le pueda dejar a un hijo que una buena educación”. Ellos han sido la principal motivación durante estos años, por todo esto y más, gracias.

Agradecer también el trato recibido por los profesores de la escuela durante estos años, en especial al Departamento de Electrónica, por mostrarme las maravillas de esta especialidad, y hacer que me alegre cada día más de la rama escogida. Evidentemente, especial agradecimiento a Jorge Chávez, por la oportunidad que me ha brindado de hacer este proyecto con él e introducirme un poco más en este mundo de la electrónica, por su paciencia, sus consejos y su ayuda siempre disponible. También agradecerle a José García las librerías proporcionadas y su interés por el avance del proyecto.

Por último, y no por ello menos especial, a Chema, por mostrarme salidas cuando todo parecía acabado, por sus consejos durante todos estos años, y su infinita paciencia conmigo. Gracias.

María del Carmen Abreu Custodio

Sevilla, 2015

Resumen

En la mayoría de dispositivos portátiles que usamos hoy en día, ya sean teléfonos móviles, ordenadores, cámaras de video, tablets y un largo etcétera; un factor muy importante a tener en cuenta es la batería. Estos dispositivos cada vez disponen de más funcionalidades, con el consiguiente consumo de energía, necesitándose baterías de mayor duración y relación energía/peso que las ya conocidas, como las de plomo, níquel-hierro o níquel-cadmio.

En la actualidad las baterías de Litio recargables son las más usadas en los dispositivos portátiles, ya que proporcionan una mayor densidad de carga siendo mucho más ligeras y pequeñas, no poseen efecto memoria y proporcionan un elevado número de ciclos de carga.

Es por ello, que en este documento se estudian las particularidades de este tipo de baterías, comparándolas con las ya citadas, se presentará el diseño de un cargador de baterías de litio, su fabricación y su correcto funcionamiento.

Abstract

In most portable devices we use today, whether mobile phones, computers, camcorders, tablets and so on; a very important factor to consider is the battery. These devices increasingly offer more functionality, resulting in energy consumption, requiring longer battery life and relationship energy/weight than those already known, such as lead, nickel-iron or nickel-cadmium batteries.

Currently rechargeable Lithium batteries are best used in portable devices because they provide a higher charge density being much lighter and smaller, have no memory effect and provide a high number of load cycles.

That is why, in this document the characteristics of these batteries are studied and compared with those already mentioned, the design of a lithium battery charger, its manufacture and its proper functioning is presented.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Ecuaciones	xix
Índice de Figuras	xxi
1. Introducción	1
1.1. <i>Antecedentes</i>	1
1.2. <i>Objetivos y alcance</i>	1
1.3. <i>Organización del documento</i>	1
2. Estudio de las particularidades de las baterías de Litio	3
2.1. <i>Funcionamiento químico de las baterías de Litio</i>	3
2.2. <i>Diferencia entre baterías Li-Ion y Li-Po</i>	3
2.3. <i>Conexionado</i>	4
2.4. <i>Características Funcionales</i>	4
2.5. <i>Curva de descarga</i>	5
2.6. <i>Curva de carga</i>	6
2.7. <i>Consideraciones de Carga</i>	7
2.8. <i>Durabilidad-Envejecimiento</i>	8
2.9. <i>Ventajas</i>	9
2.10. <i>Inconvenientes</i>	9
2.11. <i>Consideraciones de seguridad</i>	9
2.12. <i>Consideraciones de transporte</i>	10
3. Estudio de los cargadores de baterías de Litio	13
3.1. <i>Tipos de conectores</i>	13
3.2. <i>Tipos de cargadores</i>	13

4. Desarrollo de un sistema eficiente para la carga	17
4.1. Circuitos de carga existentes en el mercado	17
4.2. Comprobación de carga	18
4.3. Sistema de protección de sobrecarga	19
5. Posibles entradas de energía	21
5.1. A partir de tensión de línea (220V)	21
5.2. A partir de tensión de continua	23
5.3. A partir de energía solar	23
5.3.1. Factores de eficiencia de una célula solar:	25
6. Fabricación de un prototipo	29
6.1. Documentación del diseño	29
6.1.1. Introducción	29
6.1.2. Diagrama de flujo	31
6.1.3. Entradas y salidas del MAX8606	33
6.1.4. Funcionamiento del Sistema	34
6.2. Selección de componentes	35
6.3. Diseño y fabricación de PCB	37
6.3.1. Diseño del esquemático	37
6.3.2. Diseño del layout	38
6.3.2.1. Primera versión	38
6.3.2.2. Segunda versión	40
6.3.3. Fabricación del PCB	41
6.4. Montaje de componentes	43
7. Comprobación de funcionalidad	45
7.1. Modelo de comportamiento	46
7.2. Recogida de datos	46
7.3. Sistema Final	51
7.4. Resultados	54
7.4.1. Entrada USB. Carga a 100mA	54
7.4.2. Entrada USB. Carga a 500mA	58
7.4.3. Entrada Placa Solar. Carga a 100mA	65
7.4.4. Entrada Placa Solar. Carga a 500mA	68
8. Discusión de resultados y trabajo futuro	71
8.1. Entrada USB	71
8.2. Entrada solar	72
8.3. Trabajo futuro	73
Referencias	77
Glosario	81
Anexos	83
1. Código Matlab	85
2. Código del Microcontrolador	91
3. Datasheet MAX8606	95
4. Datasheet ACS712 – Sensor de Corriente	111
5. Datasheet Placas Solares	129
6. Esquemático Fuente de Alimentación YwRobotMB102	135
7. Esquemático del Microcontrolador	139
8. BOM	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - SoC típico de una batería de Litio	8
Tabla 2 - Consideraciones de transporte de una LiPo [9]	10
Tabla 3 - Comparación de ICs	30
Tabla 4 - Descripción de los pines del MAX8606	33
Tabla 5 - Estados de carga	35
Tabla 6 - BOM	36
Tabla 7 - Control de las entradas EN1 y EN2	37
Tabla 8 - Tensiones de los pines del integrado	45
Tabla 9 - Relación salida ADC-Valor real de Intensidad	49
Tabla 10 - Relación salida ADC-Valor real de Tensión	50
Tabla 11 - Tiempo de carga invertido en cada fase para cada batería según el modo de carga	71
Tabla 12 - Tiempo invertido en cada fase para cada batería según sea USB o Placa Solar a 100mA	72

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - Eficiencia de un panel solar	26
Ecuación 2 - Factor de llenado de un panel solar	26
Ecuación 3 - Selección de RSET	36
Ecuación 4 - Cálculo de VSETI	36
Ecuación 5 - Cálculo de VSETI	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de descarga de una batería de Litio [28]	5
Figura 2 - Curva de descarga de una batería de litio de varias celdas [28]	6
Figura 3 - Curva de carga de una batería de Litio [38]	7
Figura 4 - Bolsa de carga de seguridad	10
Figura 5 - Advertencia de transporte de LiPos	11
Figura 6 - Conectores típicos de una LiPo	13
Figura 7 - Cargador simple con switch y dial	14
Figura 8 - Cargador simple con múltiples puertos	14
Figura 9 - Cargador inteligente y arnés de carga	15
Figura 10 - Monitorización de la tensión de cada celda	15
Figura 11 - Circuito de carga a nivel constante [29]	17
Figura 12 - Sistema de control de carga mediante LEDs [30]	18
Figura 13 - Sistema de control de baja tensión	18
Figura 14 - Detalle de una LiPo [12]	19
Figura 15 - PCM externo [12]	19
Figura 16 - Esquema de una fuente de alimentación lineal [13]	21
Figura 17 - Funcionamiento del rectificador con puente de diodos [31]	22
Figura 18 - Funcionamiento del condensador de filtrado [15]	22
Figura 19 - Fragmento de la Tabla Periódica	23
Figura 20 - Circuito equivalente de un panel solar [18]	24
Figura 21 - Conexión de paneles solares en serie [32]	24
Figura 22 - Conexión de paneles solares en paralelo [32]	25
Figura 23 - Conexión de paneles solares Serie-Paralelo [32]	25
Figura 24 - Punto de máxima potencia de un panel solar [33]	26

Figura 25 - Dependencia de una panel solar con la radiación [21]	27
Figura 26 - Dependencia de un panel solar con la temperatura [21]	27
Figura 27 - Diodos de bloqueo y bypass en paneles solares [34]	28
Figura 28 - Diagrama de flujo del Sistema	32
Figura 29 - Encapsulado del MAX8606	33
Figura 30 - Esquemático del Cargador	38
Figura 31 - Layout v1	39
Figura 32 - Vista 3D del layout v1	39
Figura 33 - Layout v2	40
Figura 34 - Layout definitivo v2b	41
Figura 35 - Impresión del Layout en acetato	41
Figura 36 - Placa adaptada a la carcasa	42
Figura 37 - Placa con componentes soldados	43
Figura 38 - Curva de carga simplificada [38]	46
Figura 39 - ST-LINK/V2	46
Figura 40 - STM32F030C8	47
Figura 41 - Adaptador puerto serie a USB	47
Figura 42 - Divisor de tensiones entre batería y ADC	47
Figura 43 - Sensor de corriente ACS712ELECTR-05B-T	48
Figura 44 - Ejemplo de fichero de salida	49
Figura 45 - Sistema completo durante la carga con USB	51
Figura 46 - Fuente de alimentación externa	51
Figura 47 - LiPo de 350mAh	52
Figura 48 - LiPo de 500 mAh	52
Figura 49 - LiPo de 600mAh con sistema de protección	52
Figura 50 - LiPo de 600 mAh sin sistema de protección	52
Figura 51 - LiPo de 800 mAh con sistema de protección	53
Figura 52 - LiPo de 1000 mAh	53
Figura 53 - Li-Ion de 3000 mAh con sistema de protección	53
Figura 54 - Placa solar MC-SP0.8-NF-GCS	54
Figura 55 - Sistema completo para carga con USB a 100mA	55
Figura 56 - Carga a 100mA de LiPo de 350mAh	55
Figura 57 - Carga a 100mA de LiPo de 500mAh	56
Figura 58 - Carga a 100mA de LiPo de 600mAh con PCM	57
Figura 59 - Carga a 100mA de LiPo de 600mAh	57
Figura 60 - Inicio de carga a 100mA de batería LiPo de 1000mAh	58
Figura 61 - Sistema completo para carga con USB a 500mA	58
Figura 62 - Carga a 500mA desde PC	59
Figura 63 - Carga a 500mA de LiPo de 500mAh	59

Figura 65 - Activación del Sistema de Protección de LiPo de 600mAh cargada a 500mA	60
Figura 64 - Carga a 500mA de LiPo de 600mAh	60
Figura 66 - Carga a 500mA de LiPo de 800mAh con sistema de protección	61
Figura 67 - Carga a 500mA de batería LiPo de 1000 mAh	62
Figura 68 - Carga a 500 mA de Li-Ion de 3000 mAh	63
Figura 69 - Detalle de la fase de precarga	64
Figura 70 - Detalle de la Intensidad en fase II de carga	64
Figura 71 - Sistema completo para carga con USB a 100mA	65
Figura 72 - Carga de Lipo de 350mAh a 100mA con placa solar	66
Figura 73 - Carga de Lipo de 500mAh a 100mA con placa solar	66
Figura 74 - Carga de Lipo de 600mAh sin sistema de protección a 100mA con placa solar	67
Figura 75 - Carga de Lipo de 600mAh con sistema de protección a 100mA con placa solar	67
Figura 76 - Sistema completo para carga con USB a 500mA	68
Figura 77 - Carga de Lipo de 1000mAh a 500mA con dos placas solares	69
Figura 78 - Carga de Lipo de 1000mAh a 500mA con tres placas solares	69
Figura 79 - Características experimentales del conjunto de 3 placas solares en paralelo	70
Figura 80 - Sistema de captación solar genérico [39]	73
Figura 81 - Característica corriente-tensión de nuestro panel solar en función del nivel de radiación	74

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En la mayoría de dispositivos portátiles que usamos hoy en día, ya sean teléfonos móviles, ordenadores, cámaras de video, tablets y un largo etcétera; un factor muy importante a tener en cuenta es la batería. Estos dispositivos cada vez disponen de más funcionalidades, con el consiguiente consumo de energía, necesiéndose baterías de mayor duración y relación energía/peso que las ya conocidas, como las de plomo, níquel-hierro o níquel-cadmio.

En la actualidad las baterías de Litio recargables son las más usadas en los dispositivos portátiles, ya que proporcionan una mayor densidad de carga siendo mucho más ligeras y pequeñas, no poseen efecto memoria y proporcionan un elevado número de ciclos de carga

Es por ello, que en este documento se presentará el diseño de un cargador de baterías de litio.

1.2. Objetivos y alcance

Este proyecto pretende diseñar y evaluar un circuito electrónico que cargue de manera eficiente una batería de Litio. Se estudiarán las particularidades de dichas baterías, para poder desarrollar, fabricar y comprobar un sistema eficiente de carga.

1.3. Organización del documento

En este documento se expondrá el proceso llevado a cabo para diseñar y comprobar el correcto funcionamiento de dicho dispositivo.

En una primera parte, se realizará un estudio teórico, centrándonos en las particularidades de las baterías de litio, los circuitos de carga existentes en el mercado, la comprobación de carga, y las posibles entradas de energía.

La segunda parte de este documento, será la fabricación del prototipo, selección de elementos, diseñando y fabricando el PCB y montando el conjunto.

La tercera parte, será la comprobación de la funcionalidad, comparándola con la propuesta en bibliografías

Por último, se discutirán los resultados obtenidos, comentando la posible continuación para mejorar el funcionamiento del dispositivo.

2. ESTUDIO DE LAS PARTICULARIDADES DE LAS BATERÍAS DE LITIO

2.1. Funcionamiento químico de las baterías de Litio

A rasgos generales, toda batería consiste en un ánodo, un cátodo y una solución electrolítica, que será el medio conductor.

Las baterías de litio funcionan según el principio de intercalación y de-intercalación de iones de litio a partir de un material de electrodo positivo y un material de electrodo negativo, con el electrolito líquido que proporciona un medio conductor. Para evitar que los electrodos se toquen entre sí directamente, se coloca un separador micro-poroso entre ambos, lo que permite que sólo los iones y no las partículas de electrodos puedan migrar de un lado a otro. [1]

Los iones de litio del interior de la batería fluyen de cátodo a ánodo a través del electrolito. Cuando conectamos una carga a los terminales de la batería, los electrones fluyen hasta equilibrar las cargas, obteniéndose así la energía. Cuando cese el flujo de iones, todos estén en el ánodo, la batería estará agotada. En el proceso de carga, aplicaremos un flujo de electrones en sentido inverso.

La cantidad de energía que se produce es dependiente del tipo de material usado, en nuestro caso, litio, que es el que proporciona mayor potencial entre ánodo y cátodo posible; al ser el tercer elemento de la tabla periódica con menor densidad, podremos conseguir una mayor densidad energética. El inconveniente es su inestabilidad, para compensarla, se usará una aleación de litio y cobalto en el cátodo. [2]

En el caso de baterías de polímero de iones de litio, el medio conductor será un electrolito sólido, como el óxido de polietileno o poliacrilonitrilo.

2.2. Diferencia entre baterías Li-Ion y Li-Po

Dentro de las baterías de Litio, podemos distinguir dos tipos, aunque con características generales similares, las de iones de litio, y las de polímero de iones de litio.

La diferencia radica en el tipo del medio conductor. En el caso de las baterías de Li-Ion se emplea un electrolito de sal de litio, en un disolvente orgánico. Las de polímero, utilizan un electrolito de polímero sólido, siendo más rígidas por dentro y no necesitan tener forma cilíndrica (a diferencia de las anteriores), por lo que se aprovecha mucho mejor el espacio, pudiendo tomar cualquier forma y adaptándose mejor. Además, estas poseen una mayor densidad energética, al no poseer espacio muerto; y un menor peso, al no necesitar contenedores cilíndricos que les den forma.

El electrolito sólido puede ser seco, gelificado o poroso.

El SPE (del inglés solid polymer electrolyte) seco se usó por primera vez en torno a 1978 por Michel Armand en la Domain University y 1985 por ANVAR y Elf V Aquitaine de Francia, y Hydro Quebec de Canadá. A partir de 1990 varias organizaciones como Mead y Valence, en los Estados Unidos y GS Yuasa en Japón, desarrollaron baterías usando SPE gelificados. En 1996, Bellcore en los Estados Unidos anunció una célula de polímero de litio recargable mediante SPE porosa, pero sin éxito en la comercialización. [3]

2.3. Conexionado

Hay baterías de muy diversos tamaños, desde una sola celda hasta multiceldas de gran tamaño. La capacidad y tensión de cualquier batería dependerá de la capacidad de cada celda, y de cómo están conectadas entre sí. [4]

- Serie: Colocando celdas en serie, la tensión del conjunto aumentará como la tensión nominal de cada célula (3,7V) por el número de celdas. La capacidad de la asociación no se verá incrementada al añadir celdas en serie.
- Paralelo: En este caso, será la capacidad la que se verá incrementada de forma proporcional al número de celdas añadidas; manteniéndose el voltaje sin modificar.
- Packs: Es posible construir packs de baterías combinando serie y paralelo para obtener la capacidad y tensión deseada. Hay que tener en cuenta que la tensión nominal de cada célula será siempre de 3.7V, siendo variable la capacidad. La nomenclatura que se seguirá en este caso será xsy_p . Donde x representa el número de celdas en serie, indicando la y el número de células en paralelo

2.4. Características Funcionales

Las características principales son: [4] [5]

- Tensión: Toda celda posee una tensión nominal de 3,7V. La tensión a carga completa es de 4,2V. Es muy importante que la tensión de descarga no baje de los 3,0V; tampoco deben superarse los 4,2V durante la carga, ya que en tal caso se dañaría la batería. En el caso de asociaciones en serie, la tensión mínima de descarga será proporcional al número de celdas.
- Capacidad: Indica la cantidad de energía que puede llegar a almacenar nuestra batería, medida en miliamperios hora (mAh). A mayor valor, mayor duración, aunque también habrá que tener en cuenta que a mayor valor, mayor peso.
- Coeficiente C: Una batería de litio está diseñada para entregar o ser descargada a una cierta corriente máxima, esta está indicada por el coeficiente C. Para determinar la máxima corriente permitida, bastará con multiplicar el coeficiente C por la capacidad de la batería.
- Coeficiente de carga: No confundir con el anterior. También se expresa como múltiplo de la capacidad, para ver a la intensidad máxima a la que podremos cargar nuestra batería bastará con multiplicar el coeficiente de carga por la capacidad.
- Duración: Teóricamente, para saber la duración de una batería (en horas) nos bastará con dividir la capacidad de la batería (mAh) entre la velocidad de descarga (mA). El tiempo calculado mediante esta relación siempre será mayor que el experimental, por diversas razones, como que el dispositivo no se

descargue totalmente por motivos de seguridad, pérdidas, o la incapacidad de proporcionar la máxima corriente de manera continuada. Es por esto que al elegir la batería siempre tendremos que prever cierto margen de seguridad. En ciertas baterías aparecen dos valores de coeficiente C, el primero (más bajo) indicará el coeficiente de descarga de manera continua, el segundo nos indicará el máximo que podría soportar por unos segundos (también indicados). Este último es denominado coeficiente C de ráfaga.

- DOD – Profundidad de descarga: La profundidad de descarga de una batería es el ratio de energía descargada en relación a la cantidad de energía que puede almacenar. Se expresa en porcentaje, y es el contrario al SOC ($SOC=1-DOC$)
- Resistencia interna: Si la batería se encuentra en un buen estado esta debe ser baja. Aumenta con el estado de carga, temperatura y envejecimiento. Es difícil de controlar, disminuyendo el rendimiento de la batería.

2.5. Curva de descarga

Es conocido el mito de que debemos descargar la batería solo hasta el 80%. Esto es, porque, como podemos observar en la gráfica inferior, cuando sobrepasamos aproximadamente el 80% de la capacidad de descarga, (en este caso, con una batería de 2000mAh, para 1600mAh) la tensión de la celda decae con una pendiente mucho mayor que para el porcentaje anterior, bajando rápidamente a los 3,0V de descarga mínima permitida. Además, a menos que sepas exactamente la cantidad de corriente que está circulando, y la curva de descarga de la batería en cuestión, una vez pasemos del 80% no habrá manera de saber con qué velocidad llegaremos a los 3V. Aun conociendo la curva de descarga, esta no será siempre la misma, variará en función del envejecimiento de la batería.

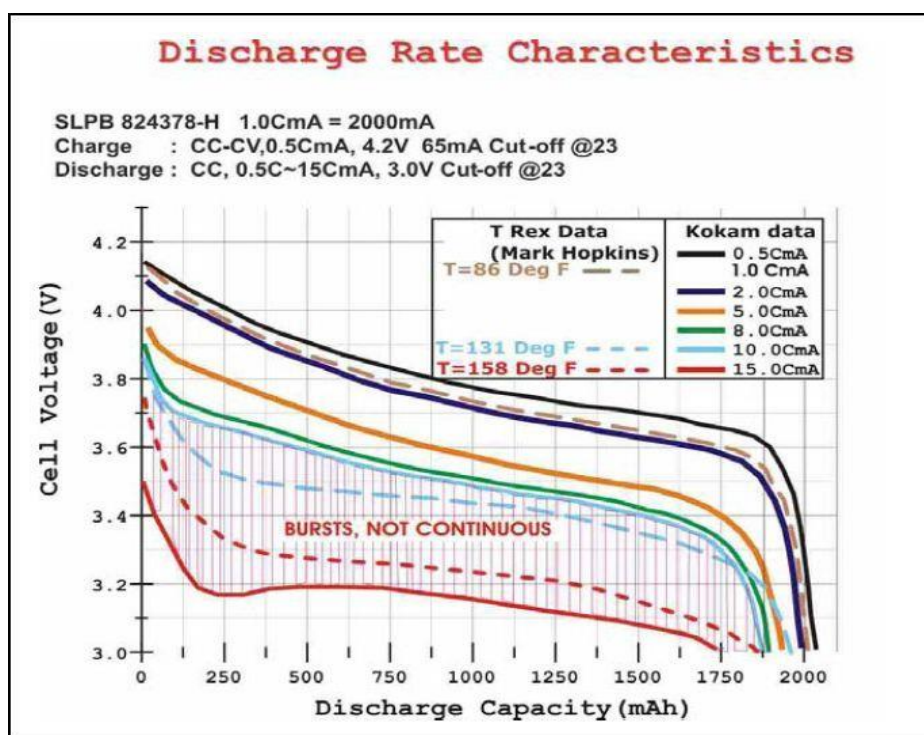


Figura 1 - Curva de descarga de una batería de Litio [28]

Además, deberemos tener en cuenta, que para baterías formadas por varias celdas, no todas se descargan por igual, pudiendo unas llegar a los 3V mucho antes que otras. Esto se podría solventar controlando el nivel de tensión durante la carga, si se observan diferencias entre las tensiones de cada célula, no deberemos superar el 80% por seguridad. Esto se puede observar en la siguiente imagen.

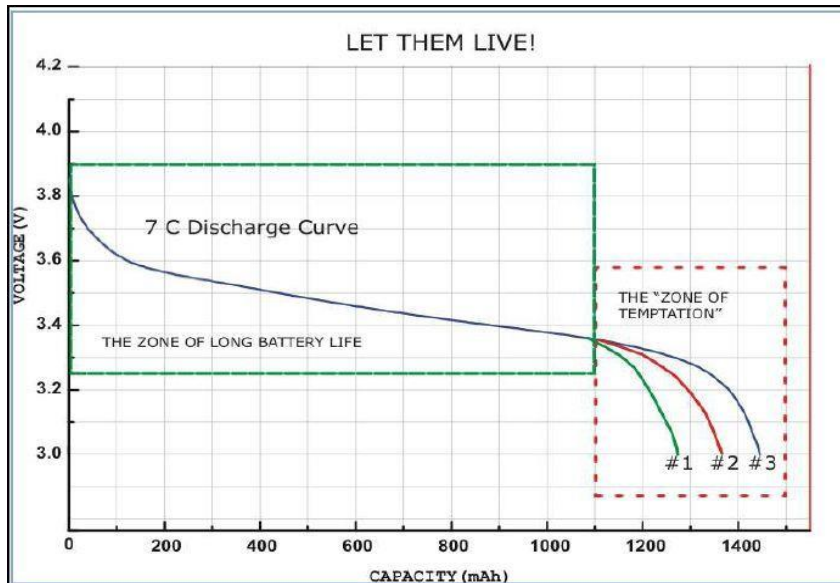


Figura 2 - Curva de descarga de una batería de litio de varias celdas [28]

2.6. Curva de carga

En términos generales, la corriente de carga máxima con baterías de litio es 1C; aunque la mayoría de los datasheets recomiendan 0,5C.

Tensiones más altas aumentan la capacidad, pero cuando se va más allá de las especificaciones, la célula se deteriora y entrega una vida útil reducida.

Podemos diferenciar cuatro fases de carga, aunque lo más normal es dos fases:

- Una primera fase de intensidad constante hasta que la batería alcanza los 4,2V de carga completa. Esto ocurre aproximadamente al 80% de la capacidad.
- En la segunda fase, la carga se mantiene a 4,2V, mientras que la corriente disminuye lentamente, sin llegar a hacerse 0, es por esto por lo que encontramos a veces el mensaje de “99% y cargándose” durante horas, ya que el cargador no es demasiado inteligente y no sabe reconocer el estado de carga completa.

En la siguiente imagen podemos verla representadas ambas frente al tiempo:

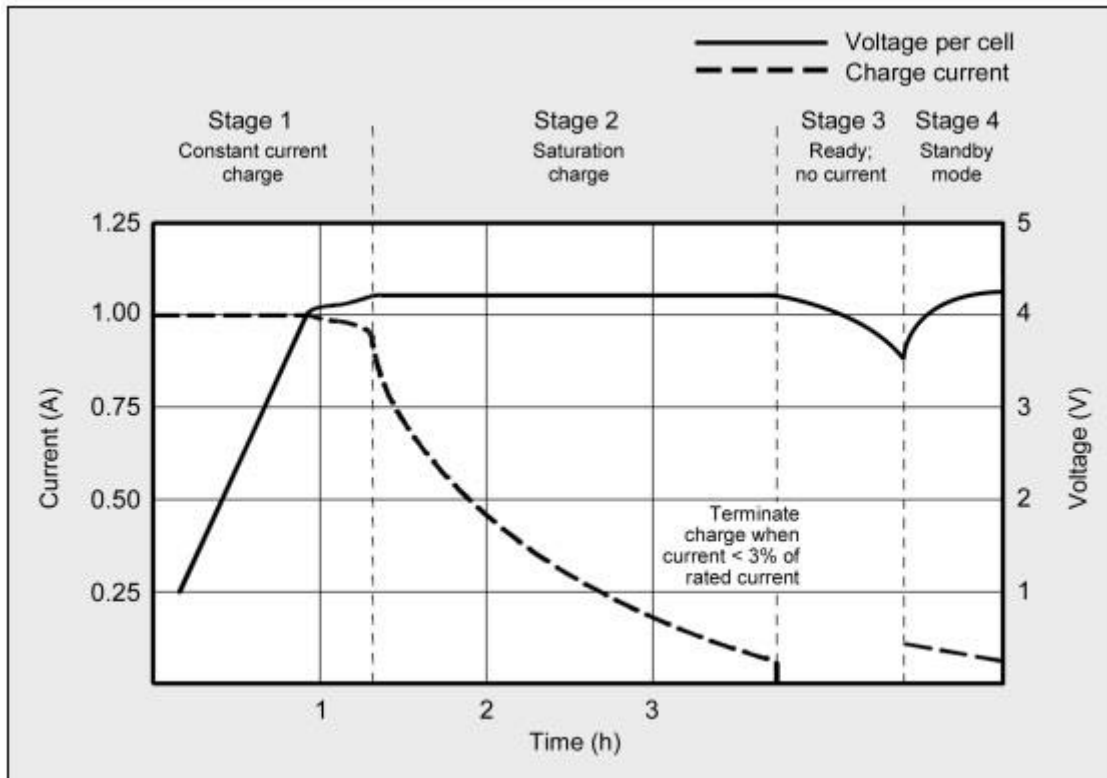


Figura 3 - Curva de carga de una batería de Litio [38]

2.7. Consideraciones de Carga

Puede parecer que aumentar la intensidad de carga, disminuirá el tiempo de carga, pero no es tan obvio como puede parecer en un principio. Aunque la batería alcanza el máximo de tensión más rápido, la fase dos durará más tiempo. Aumentar la corriente de carga, disminuirá el tiempo de la fase uno, pero aumentará el tiempo de la fase dos. Por lo tanto, tendrá sentido aumentar la intensidad (no más allá de 1C por seguridad) cuando no sea necesaria la carga completa o la fase dos; como es el caso de las baterías de Litio, aumentando además su vida útil al no proporcionarle valores de tensión tan altos, lo cual estresa la batería.

Sin embargo, para proporcionar el mayor tiempo de uso de la batería, la mayoría de los cargadores del mercado cargan hasta la máxima capacidad, ya que el usuario ve la vida útil menos importante que el tiempo de uso de una carga. Otros cargadores de bajo costo, denominados “*charge and run*” que cargan la batería en una hora o menos, no llegan a la fase dos, finalizan la carga cuando la batería llega al umbral de tensión de 4,2V en la etapa uno. El estado de carga (SoC) en este punto es aproximadamente del 85%, nivel que puede ser suficiente para muchos usuarios.

En la tabla siguiente podemos observar el SoC cuando se carga a distintas tensiones con y sin fase dos:

Tensión de carga/célula	SoC Fase 1	SoC Fase 2
3.8	60%	≈ 65%
3.9	70%	≈ 75%
4.0	75%	≈ 80%
4.1	80%	≈ 90%
4.2	85%	≈ 100%

Tabla 1 - SoC típico de una batería de Litio

La fase dos aumenta un 10% aproximadamente la capacidad, pero se suma el estrés sufrido por la batería.

2.8. Durabilidad-Envejecimiento

- **Ciclos:** Se denomina ciclo al periodo de carga y descarga. Los ciclos reales dependen de la profundidad de descarga que se use, siendo mayor a menor DOD
- **Auto descarga:** Caracteriza la descarga de la batería aunque no se use. Valor indicado por el fabricante, siendo dependiente de la tecnología. Aumenta proporcionalmente a la temperatura y al envejecimiento.
- **Equilibrado:** Tiene lógica hablar de equilibrado cuando tratamos un conjunto de celdas. Durante el proceso de carga puede que unas celdas queden más cargadas que otras, o se carguen unas más rápidas que otras, disipándose la energía “extra” de dichas células. En el caso de las baterías de litio esta sobrecarga puede provocar daños en la batería y accidentes. Es por tanto, interesante, controlar la tensión de cada celda, descargando algunos elementos mientras el resto se cargan; a esto se le denomina balanceo. En el caso de que la diferencia de tensión en bornes de las distintas celdas difiera en cantidades superiores a 0,1V, se considerará que hay desequilibrio.
- **Pasivación:** Es un efecto que se produce en la batería cuando se ha tenido sin usar durante bastante tiempo. Se crea una fina película de cloruro de litio en la superficie del ánodo, evitando la auto-descarga, actuando como resistencia; es por esta razón, por la que no es considerada como algo negativo, como podría parecer en un principio; lo que pasa, es que cuando el periodo de tiempo sin usarla es demasiado grande, la capa puede llegar a ser demasiado gruesa e impediría que la batería nos proporcione sus máximas prestaciones. La capa, además del tiempo sin usarse, también dependerá de la temperatura de almacenaje (a mayor temperatura, mayor grosor) y de la tensión de la batería (a mayor tensión, más rápido se forma dicha capa). Para reducir la capa, debemos realizar varios ciclos de carga y descarga. [6]

2.9. Ventajas

- Presentan aproximadamente el doble de capacidad con la mitad de peso que otras baterías como la de NiCd o la de NiMH.
- Mantienen la carga durante un periodo de tiempo mayor que las anteriores cuando no se está usando.
- No presentan efecto memoria como las baterías de NiCd
- El coste de fabricación es mucho menor que las anteriores, aún más si hablamos de las LiPo.
- Funcionan bien en aplicaciones de elevada demanda de corriente

2.10. Inconvenientes

- Son muy sensibles a las altas temperaturas.
- Son sensibles a tensiones muy altas y muy bajas. Exceder los límites comentados puede dañar significativamente la batería.
- Vida útil de 2 ó 3 años.
- Propensas a explotar si se exponen al calor o a carga/descarga indebida, sobre todo las LiPo

2.11. Consideraciones de seguridad

Una de los inconvenientes citados anteriormente, es que estas baterías son propensas a explotar y arder por una carga/descarga indebida, ya sea por usar un cargador inadecuado, usar los parámetros inadecuados en el cargador o intentar cargar la batería demasiado rápido.

Unos simples consejos para evitar accidentes podrían ser: [7] [8]

- Deja enfriar la batería a temperatura ambiente tras el uso antes de cargarla.
- Asegurarse de que el cargador que estamos usando es adecuado para ese tipo de batería.
- Asegurarnos de que la carga se realizado por debajo de 1C.
- Cargar la batería en una superficie sólida en un área ventilada.
- Tener extintor cerca.
- Revisar la batería buscando daños superficiales. Si se observa algún tipo de daño no usarla.
- Mantener bajo vigilancia durante la carga.
- No mezclar en un pack elementos de distinto amperaje o capacidad
- No cargar a mayor amperaje
- No usar baterías hinchadas
- No cortocircuitar los bornes de la batería

Rara vez, la batería puede arder aun siguiendo estas consideraciones, es por ello que se recomienda el uso de las llamadas bolsas de carga. No son caras y previenen el fuego.



Figura 4 - Bolsa de carga de seguridad

2.12. Consideraciones de transporte

La Administración Federal de Aviación, Federal Aviation Administration (FAA) en inglés, no permite el transporte de baterías LiPo en aviones en la mayoría de los casos, la aceptación o no dependerá de su configuración y de su capacidad, véase la siguiente tabla para más detalle:

Capacidad (Wh)	Configuración	Equipaje de mano	Equipaje de bodega	Aprobación del operario
< 100 Wh (2g)	Incluidas en el dispositivo	Si	Si	No
	De repuesto	Si (sin límite)	No	No
100 a 160 Wh	Incluidas en el dispositivo	Si	Si	Si
	De repuesto	Si (máximo 2)	No	Si
> 160Wh	Deberán ser declaradas y transportadas en calidad de carga, en conformidad con el Reglamento de la IATA relativo a mercancías peligrosas			

Tabla 2 - Consideraciones de transporte de una LiPo [9]

Los terminales de las baterías de repuesto deberán protegerse contra cortocircuitos, cubriéndolos con cinta adhesiva, siendo transportada cada una en su caja individual y con embalaje a prueba de golpes.

Las baterías incluidas en dispositivos tales como cámaras, ordenadores portátiles, teléfonos móviles, etc; deberán transportarse desactivadas y tomar las precauciones pertinentes cuando viajan en bodega.

Un ejemplo de pegatina de advertencia en una caja que transporta LiPos es la siguiente:



Figura 5 - Advertencia de transporte de LiPos

3. ESTUDIO DE LOS CARGADORES DE BATERÍAS DE LITIO

Podemos destacar, por su mayor uso, dos tipos de baterías de litio, las de iones de litio y las de polímero de iones de litio, cuyas diferencias químicas y físicas ya se comentaron en un apartado anterior.

A partir de ahora, nos centraremos en un tipo para focalizar el estudio de las opciones y el diseño del cargador. Debido a la mayor sensibilidad de las LiPo a la hora de cargarlas, ya que explotan con mayor facilidad ante carga y uso indebido, nos centraremos en este tipo; el cargador diseñado servirá también para cargar Li-Ion, ya que ambas son, en esencia, compatibles.

Las pruebas del cargador, se realizarán tanto con LiPos como con baterías de Litio.

Una buena carga incrementará la vida y calidad de la batería, además de evitar fuegos. Surge una pregunta, si son tan peligrosas, ¿por qué su uso está tan extendido? La respuesta es simple, todas vienen con un cargador especialmente diseñado para ellas.

Profundicemos un poco en estos cargadores.

3.1. Tipos de conectores

La mayoría de las baterías de una sola celda suelen traer solo un conector, el de carga. Sin embargo, las de varias celdas, suelen traer otro adicional, el conector de balanceo. En la foto inferior podemos observarlos, el azul de mayor tamaño es el de carga, y el blanco, de menor tamaño, es el de balanceo. [10]



Figura 6 - Conectores típicos de una LiPo

3.2. Tipos de cargadores

Las baterías de polímero de litio usan un algoritmo de carga distinto al de cualquier otro tipo de batería. Es por

ello que deben ser usados cuando carguemos LiPos. [11]

- Simples

Suelen presentar un switch donde seleccionaremos el número de celdas de la batería, y un dial para seleccionar la cantidad de corriente. La carga en este tipo de cargadores se suele realizar por el conector de balanceo como podemos comprobar en la imagen inferior, esto no será así para cargadores más grandes ni inteligentes.



Figura 7 - Cargador simple con switch y dial

Dentro de los simples, también encontramos cargadores múltiples, donde podremos cargar varias baterías a la vez. En este caso no existen switch ni dial, lo único que hay que hacer es conectar la batería y esperar. Un ejemplo se muestra en la imagen inferior.



Figura 8 - Cargador simple con múltiples puertos

- Inteligentes

Los cargadores anteriores son simples, baratos y hacen el proceso de carga algo simple; pero no hacen un buen trabajo en lo que a balanceo de carga respecta.

Los cargadores inteligentes llevan cada celda a su punto óptimo de carga.

Este tipo de cargadores usa ambos conectores, el conector de balanceo se usa para, una vez la batería está cercana a su nivel de carga completa, controlar cada celda individualmente.

Los conectores de balanceo, se colocan en un arnés de carga, como podemos observar en la imagen inferior, con diferentes tamaños, para adaptarse a casa batería en función del número de celdas.



Figura 9 - Cargador inteligente y arnés de carga

Algunos pueden adaptarse al tipo de batería conectada, por ello proporcionan un menú donde elegir el tipo LiPo, introduciendo luego, tensión y capacidad.

Lo realmente interesante sobre este tipo de cargadores, es que puedes monitorizar la tensión de cada celda, con lo que estaremos totalmente seguros de que el pack está balanceado. También podremos ver la tensión del pack, la intensidad de carga, cuánto tiempo lleva cargando y la temperatura de cada celda y del pack, con la opción de programar un corte de carga si esta es demasiado elevada.



Figura 10 - Monitorización de la tensión de cada celda

4. DESARROLLO DE UN SISTEMA EFICIENTE PARA LA CARGA

4.1. Circuitos de carga existentes en el mercado

Son muy diversos los tipos de cargadores que se podrían usar, podemos distinguir entre cargadores que realizan una carga de manera constante, y cargadores que dividen en intervalos de carga.

- Carga constante

Un circuito posible sería el siguiente:

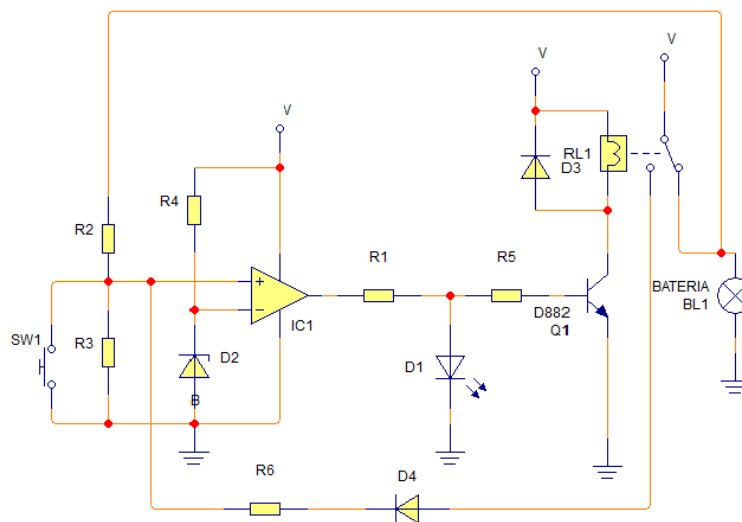


Figura 11 - Circuito de carga a nivel constante [29]

En este caso, el amplificador funciona como comparador, con las resistencias R2, R3 y R4 realizamos un divisor de tensiones, de manera que la batería se cargue hasta que llegue a su tensión máxima, punto en el que la comparación se cumplirá y cortará la carga. Cuando el operacional dé tensión a la salida, se activará el transistor, y por lo tanto se activará el relé, por lo que se desconectaría la batería. El diodo se encenderá cuando la carga esté completa. D4, R6 y el switch lo usamos para evitar oscilaciones en la conexión y desconexión de la batería, ya que si no los usamos, en cuanto la tensión de la batería decaiga un poco, se volverá a conectar, creándose un proceso cíclico no deseado.

- Carga por intervalos

Otra solución posible sería usar un integrado, que controlase los niveles de carga, y en función de eso, proporcionase un método de carga distinto para cada fase; como por ejemplo el MAX8606 o el MAX8819x, dimensionando los componentes necesarios para su correcto funcionamiento.

4.2. Comprobación de carga

Para este caso, existen varias formas de comprobación de carga:

Desde las más simples, como el circuito de la figura siguiente, que nos indicaría mediante los LEDs que la tensión de la batería es inferior a cierto valor:

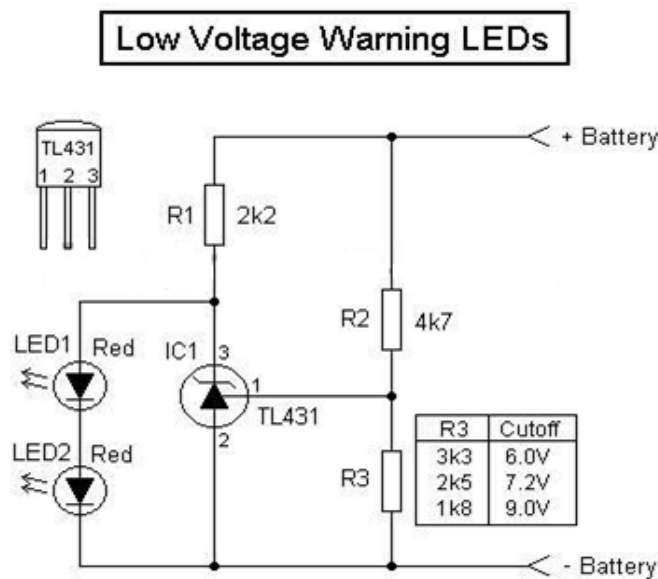


Figura 12 - Sistema de control de carga mediante LEDs [30]

Destacando otros similares, con avisos sonoros o mediante zumbadores.

Encontramos también, sistemas algo más complejos, que nos muestran el nivel de carga en cada instante, o el porcentaje de carga, y nos avisan tanto con avisos sonoros como con LEDs cuando el nivel de tensión es demasiado bajo, tal como el que podemos ver en la imagen inferior, que controlaría baterías de 1 a 8 celdas, midiendo la tensión de cada celda y la de la batería en conjunto:



Figura 13 - Sistema de control de baja tensión

4.3. Sistema de protección de sobrecarga

Es usual que las propias baterías traigan un sistema de protección contra sobrecarga denominado Battery Management System (BMS) o Protection Circuit Module (PCM)

Dichos circuitos son los encargados de controlar cuándo debe cortar la tensión de salida para evitar que la batería se descargue por debajo de cierto nivel, y cortando la tensión a la entrada cuando la batería ha alcanzado la tensión de carga máxima.

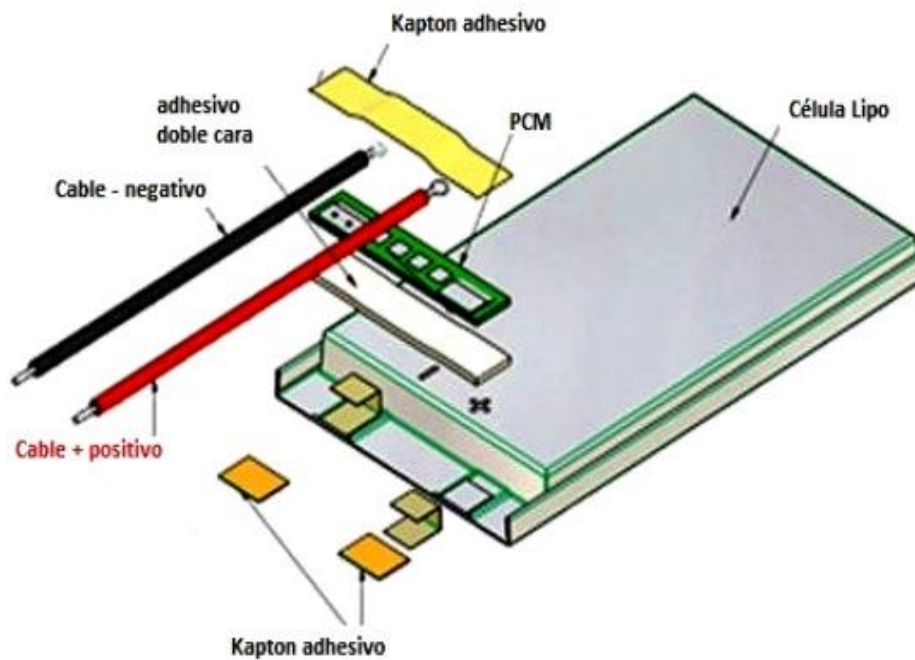


Figura 14 - Detalle de una LiPo [12]

También son posibles los sistemas de protección externos, con funcionamiento muy similar, siendo diversos en función del tipo y características de batería usada, siendo un ejemplo simple, para una sola celda: [12]

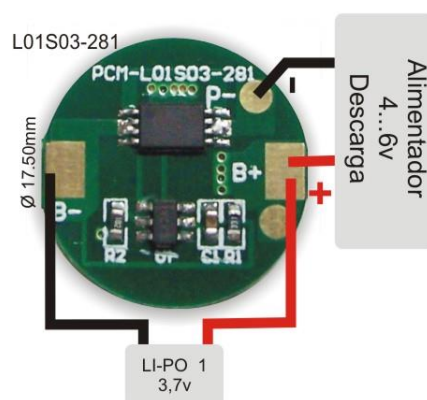


Figura 15 - PCM externo [12]

5. POSIBLES ENTRADAS DE ENERGÍA

5.1. A partir de tensión de línea (220V)

Para conectar nuestro cargador a la red eléctrica, necesitaremos intercalar una fuente de alimentación lineal, que nos permita convertir la tensión alterna del suministro eléctrico, en tensión continua. Elegimos una lineal, por sus ventajas en cuanto a simplicidad de diseño, reducido número de componentes y reducido nivel de ruido.

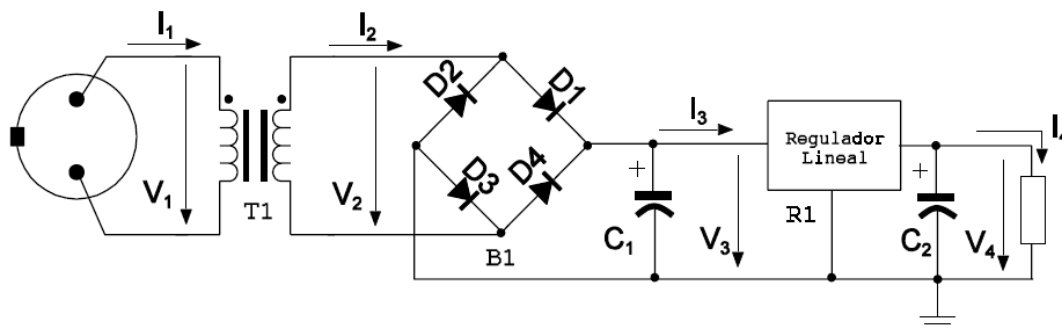


Figura 16 - Esquema de una fuente de alimentación lineal [13]

El esquema típico de una fuente de alimentación lineal, como la mostrada en la figura anterior, está formada por: [14]

- Un transformador T1

Dispositivo capaz de modificar la tensión y corriente alterna de entrada a niveles menores, proporcionando aislamiento eléctrico entre los dos circuitos mediante campo magnético.

- Un rectificador B1, formado en este caso por un puente de diodos

Los cuatro diodos permiten convertir la señal alterna a la entrada en una señal homopolar, funcionando como rectificador de onda completa. Se puede ver su funcionamiento en la figura siguiente:

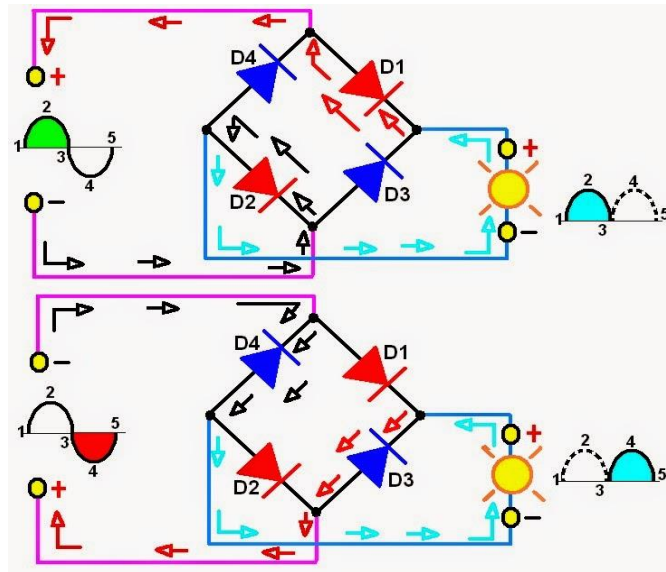


Figura 17 - Funcionamiento del rectificador con puente de diodos [31]

- Un filtro C1, un condensador en este caso

Al añadir un condensador a la salida del puente, aparecen dos intervalos:

Un intervalo en el que un par de diodos del puente están conduciendo, por lo que la intensidad está producida por los diodos; y un segundo intervalo en el que todos los diodos están en corte, y la corriente es suministrada por el condensador; lo cual nos permite disminuir el rizado a la salida del rectificador.

El condensador se cargará mientras la tensión de la onda senoidal sea superior a la suya, almacenando energía; cuando la tensión de la onda sea inferior a la del condensador, éste se descargará, hasta que la señal vuelva a tener una tensión superior a la del condensador, momento en que volverá a cargarse y repetir el ciclo. Esto puede verse representado por la línea de color azul de la imagen inferior; la línea roja de puntos representa la señal rectificada.

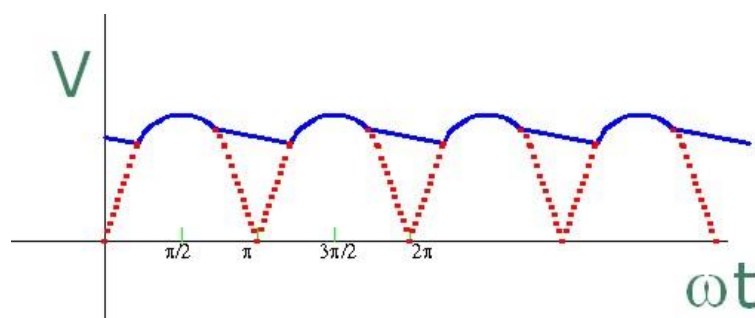


Figura 18 - Funcionamiento del condensador de filtrado [15]

- Un regulador de línea R1

Este pequeño circuito nos permitirá mantener la salida constante, a pesar de los cambios bruscos de la entrada. Tendremos que tener en cuenta la mínima caída de tensión entrada-salida necesaria para que funcione, cómo varía la tensión de salida en función de cambios en la tensión de entrada y la variación de la tensión de salida

como consecuencia de una variación de la corriente de entrada.

- Una etapa de salida

El funcionamiento, a rasgos generales, es el siguiente:

A partir del transformador conseguimos adaptar la tensión de la red eléctrica, a una tensión inferior. Rectificamos la señal alterna a una tensión homopolar. Con el condensador C1 reducimos el rizado y finalmente, con el regulador R1, mantenemos fija la tensión a la salida, a pesar de los cambios bruscos en la tensión de entrada, adaptando la salida a los valores necesarios.

5.2. A partir de tensión de continua

La opción más simple, será la de conectar el cargador a un puerto USB, como el del ordenador portátil, que nos proporcione fácilmente 5V y 1A. Solo necesitaremos el cable con los conectores USB y micro-USB.

5.3. A partir de energía solar

El uso de la energía solar, es una muy buena opción, ya que obtendríamos la fuente de energía necesaria, sin mayor coste que el panel; y con la ventaja de que es una fuente inagotable. Su uso es extenso en el campo de las telecomunicaciones, en sistemas que se encuentran lejos de la red eléctrica; es una buena opción para lugares que disfrutan de sol durante gran parte del año, además funcionan en días nublados, ya que son capaces de captar la luz que se filtra entre las nubes.

Lo primero, será conocer el funcionamiento de los paneles solares.

Están formados por varias celdas solares, el número variará en función de su tamaño.

Las celdas suelen ser de silicio cristalino o arseniuro de galio. Para crear cargas positivas y negativas, por ejemplo, en el caso del silicio, se mezcla con fósforo para crear placas negativas (mas electrones de valencia que el silicio) y con boro para crear placas positivas (menos electrones de valencia que el silicio). [16] [17]

5	6	7
13	14	15
IIIA	IVA	VA
B Boro 10.811	C Carbono 12.0107	N Nitrógeno 14.00674
Al Aluminio 26.981538	Si Silicio 28.0855	P Fósforo 30.973761
Ga Galio 69.723	Ge Germanio 72.64	As Arsénico 74.92160

Figura 19 - Fragmento de la Tabla Periódica

En cada célula, formada de, al menos, dos láminas de silicio, se intercalan los semiconductores tipo P y los tipo N. Mediante hilos conductores se conectan las células entre sí para formar el panel.

Los fotones procedentes del sol inciden sobre la capa P, liberando electrones que atraviesan la capa de semiconductor, pero no vuelven. La capa N se encuentra a diferente potencial que la capa P, por lo que al conectarle una carga, se producirá una corriente eléctrica continua. [18]

La efectividad de los paneles depende de la orientación e inclinación respecto al sol.

El circuito equivalente suele ser el siguiente:

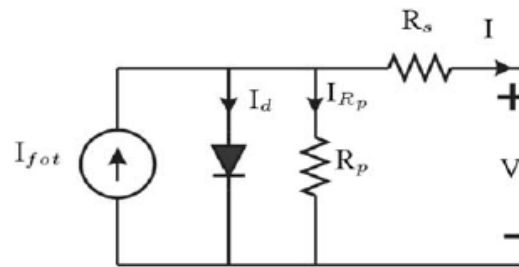


Figura 20 – Circuito equivalente de un panel solar [18]

Es posible asociar paneles, en función de cómo los conectemos, obtendremos unos valores de tensión e intensidad distintos: [19]

- Conexión Serie

Al conectar los paneles en serie, aumentamos el voltaje de manera proporcional al número de celdas conectadas, manteniéndose igual la intensidad.

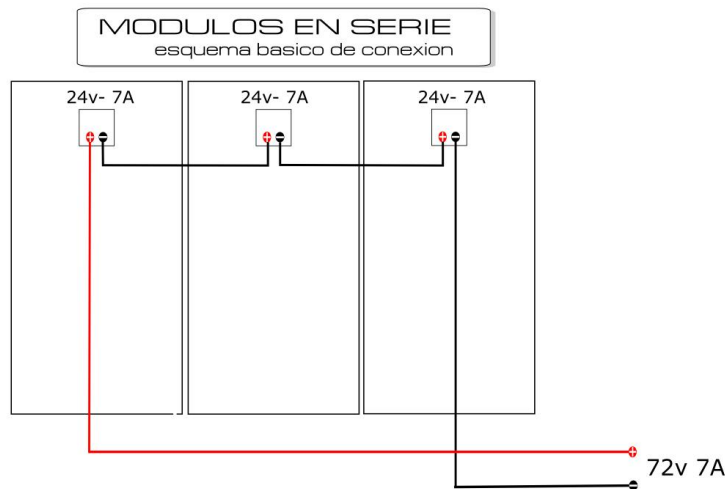


Figura 21 - Conexionado de paneles solares en serie [32]

- Conexión Paralelo

Cuando conectamos en paralelo, dejamos fija la tensión y aumentamos la intensidad.

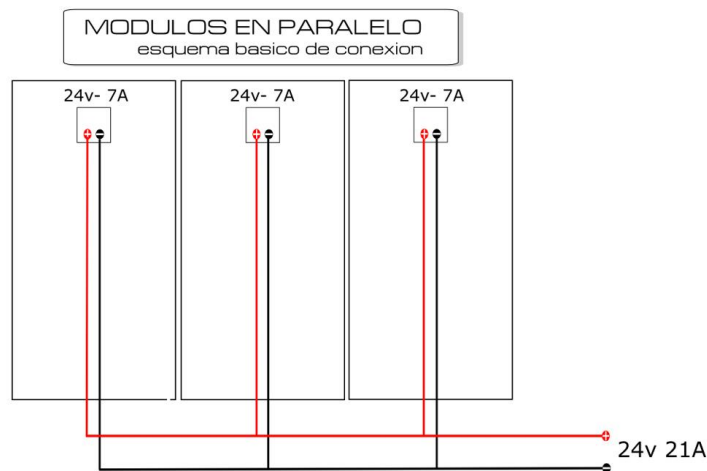


Figura 22 - Conexionado de paneles solares en paralelo [32]

- Conexión Mixta

La conexión de paneles en serie y paralelo forma los denominados arrays; combinando los paneles podremos obtener las tensiones e intensidades necesarias.

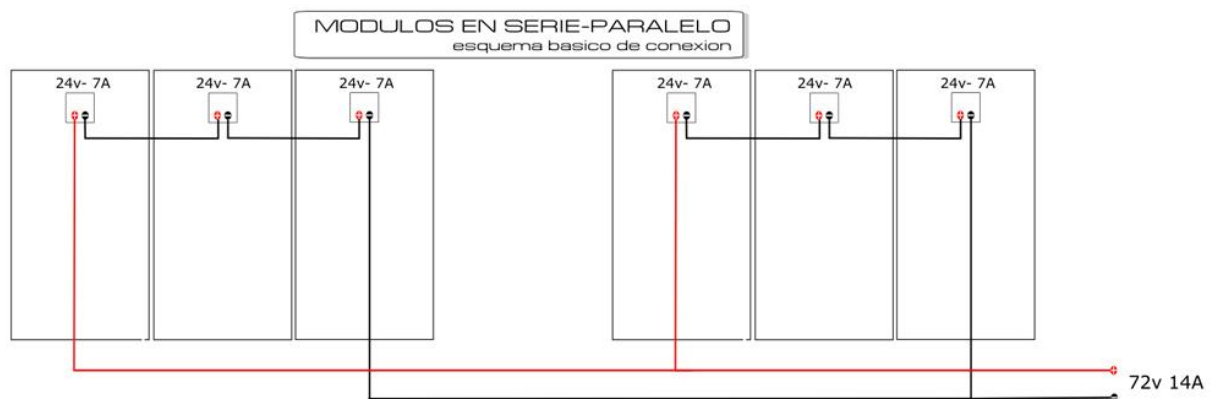


Figura 23 - Conexionado de paneles solares Serie-Paralelo [32]

5.3.1. Factores de eficiencia de una célula solar:

- Punto de Máxima Potencia:

Una placa puede funcionar en un amplio rango de tensiones e intensidades, en función de la resistencia de carga, o de la impedancia de la propia célula, desde cortocircuito a circuito abierto; siendo posible determinar el punto de máxima potencia teórica, donde obtendremos el mayor valor de tensión frente a intensidad, la máxima potencia para cierto nivel de radiación, el MPP (del inglés Maximum Power Point, o punto de máxima potencia). Este nivel se suele alcanzar aproximadamente al 80% de la tensión de circuito abierto. [20]

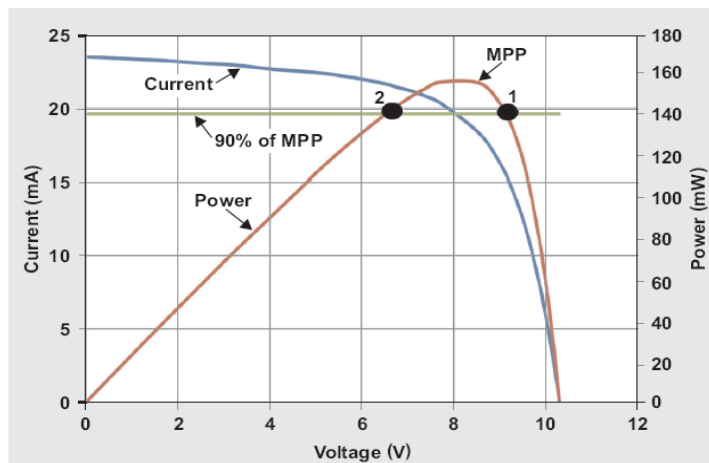


Figura 24 - Punto de máxima potencia de un panel solar [33]

- Eficiencia en la conversión de energía:

Porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica, cuando la célula está conectada a una carga. Depende del punto de potencia máxima P_m , de la luz incidente E (W/m^2) bajo condiciones estándar STC, y del área superficial de la célula A_c (m^2). [20]

$$\eta = \frac{P_m}{E \cdot A_c}$$

Ecuación 1 - Eficiencia de un panel solar

- Factor de llenado: FF

Relación entre el punto de máxima potencia P_m , tensión a circuito abierto V_{oc} e intensidad de cortocircuito I_{sc} . Suele ser superior al 75% en paneles de buena calidad. [20]

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Ecuación 2 - Factor de llenado de un panel solar

- Dependencia de la radiación

La intensidad de cortocircuito I_{sc} es proporcional al número de fotones absorbidos por el semiconductor, y es proporcional a la intensidad de la luz incidente como podemos observar en la imagen inferior:

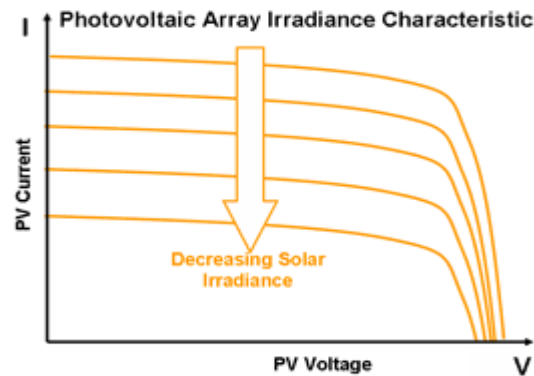


Figura 25 - Dependencia de una panel solar con la radiación [21]

- Dependencia con la temperatura

Conforme aumenta la temperatura, la banda prohibida del semiconductor se contrae, por lo que la tensión de circuito abierto V_{oc} disminuye. A la vez, permite que sea absorbida mayor energía ya que un porcentaje mayor de la luz incidente tiene energía suficiente para pasar los portadores de la banda de valencia a la banda de conducción, con el consiguiente aumento de la corriente. Hasta aquí, todo parece positivo, sin embargo, a medida que la temperatura aumenta, la resistencia interna del material crece, disminuyendo la conductividad. El incremento de corriente para un aumento de temperatura dada, es proporcionalmente menor que la disminución de la tensión, por lo tanto se reduce la eficiencia del panel. [21]

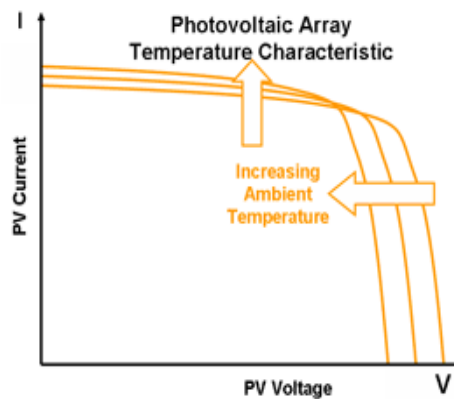


Figura 26 - Dependencia de un panel solar con la temperatura [21]

- Uso de diodos de ByPass y Bloqueo

Los diodos de bloqueo impiden que la corriente fluya desde la carga hasta los paneles fotovoltaicos en ausencia de energía solar. Evitan también que la corriente se invierta para paneles conectados en paralelo, cuando se produce sombra en uno de ellos.

Los diodos de bypass protegen a cada panel de sombras parciales, usados para conexiones en serie. Por lo general no son necesarios en paneles con tensiones de funcionamiento inferiores a 24V. [22]

En la siguiente imagen podemos observar la colocación de dichos diodos:

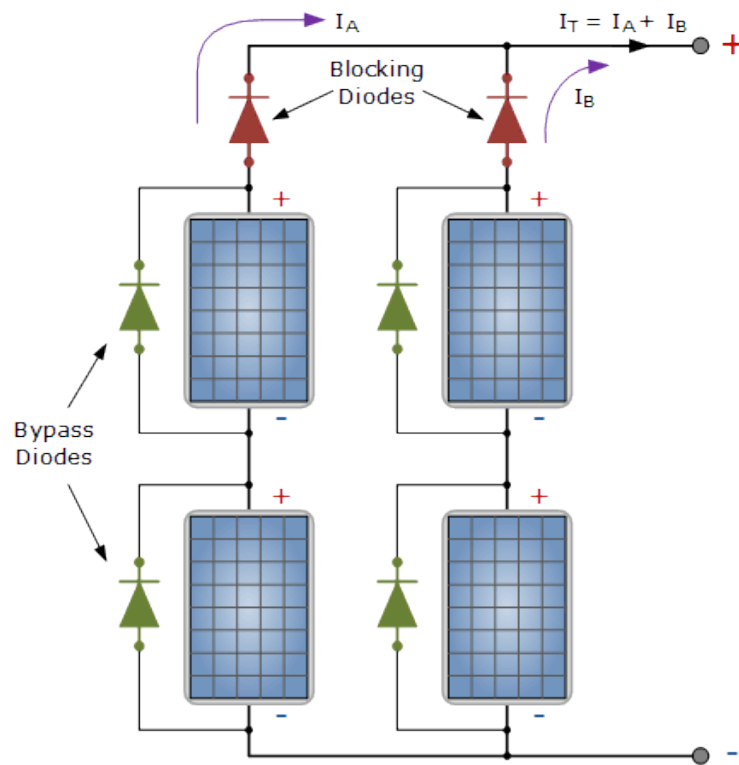


Figura 27 - Diodos de bloqueo y bypass en paneles solares [34]

6. FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO

Tras el estudio de las diversas posibilidades a la hora de implementar un cargador de baterías LiPo, definiremos finalmente, el alcance de nuestro proyecto: realizaremos un cargador de baterías LiPo de una celda, alimentado mediante USB y célula solar, con un proceso de carga en fases, usando un integrado y dimensionando sus componentes; con un sistema externo de comprobación de carga, para evaluar el funcionamiento del sistema.

6.1. Documentación del diseño

6.1.1. Introducción

Lo primero que debemos hacer, es seleccionar un integrado de carga. Se han consultado las opciones de tres de los fabricantes más conocidos: Maxim Integrated, Texas Instruments and Microchip Technology. Entre estos me decanté por Maxim Integrated.

Maxim nos ofrece 74 integrados de carga distintos para baterías LiPo, entre los que tendremos que elegir en función de nuestras necesidades, vamos descartando opciones, buscando ICs que carguen baterías de una célula, con entrada USB y AC, con protecciones de sobretensión, protecciones de sobreintensidad, evitamos encapsulados industriales (WLP¹) y de más de 14 patas por simplicidad. Seleccionamos además los integrados que terminen el proceso de carga por la mínima intensidad de carga, como hemos explicado en apartados anteriores.

Tras estas selecciones nos quedamos con un total de cinco integrados:

¹ Wafer-level packaging: El encapsulado a nivel de oblea, permite al IC conectarse boca abajo a la placa de circuito impreso, utilizando métodos de ensamblaje SMT convencionales. Los pads del chip se conectan directamente a los pads de PCB a través de bolas de soldadura individuales. Se diferencia del resto en que no se requiere bonding o conexiones mediadoras. Las principales ventajas del WLP son pequeño tamaño, una inductancia IC-PCB minimizada, y un tiempo de ciclo de fabricación acortado [37]

Part Number	Description	Cell Chemistry	Lithium Ion Cells		Protected V _{in} (max) (V)	Charging V _{in} (max) (V)		Charge Rate Set by (A)	Max. I _{chg} (A)	Max. I _{chg} (A)	Charge Termination	Regulation	Features	Oper. Temp. (°C)	Package/Pins	Budgetary Price
			1	Cells		7	(V)									
MAX8600A	Single-Input 1-Cell Li+ Charger with OVP Protection and Programmable Charge Timer	Li-Ion, Li-Polymer	1	14	7	Logic Input, Resistor	1	1	1	Min. Charge Current	Linear	Internal Switch, Stand Alone, Thermal Die Regulation, Thermistor Input, Timer	-40 to +85	TDFN-EP/14	\$1.44	
MAX8856	USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch	Li-Ion, Li-Polymer	1	14	5,5	Logic Input, Preset, Resistor	1	1	1	Min. Charge Current	Linear	Dual USB/Adapter Input, Input Current Limit, Internal Switch, Smart Power Selector, Thermal Die Regulation, Thermistor Input, USB Input	-40 to +85	TDFN-EP/14	\$2.04	
MAX8606	Dual Input AC Adapter and USB Powered 1-cell Li+ Charger with OVP	Li-Ion, Li-Polymer	1	14	5,5	Logic Input, Resistor	1	1	1	Min. Charge Current	Linear	Dual USB/Adapter Input, Input Current Limit, Internal Switch, Smart Power Selector, Stand Alone, Thermal Die Regulation, Thermistor Input, Timer, USB Input	-40 to +85	TDFN-EP/14	\$2.04	
MAX8600	Single Input 1-Cell Li+ Charger with OVP and Charge Timer	Li-Ion, Li-Polymer	1	14	7	Logic Input, Resistor	1	1	1	Min. Charge Current	Linear	Internal Switch, Stand Alone, Thermal Die Regulation, Thermistor Input, Timer	-40 to +85	TDFN-EP/14	\$1.44	
MAX8601	Dual Input 1-Cell Li+ Charger with OVP and Charge Timer	Li-Ion, Li-Polymer	1	14	7	Logic Input, Resistor	1	1	1	Min. Charge Current	Linear	Dual USB/Adapter Input, Internal Switch, Stand Alone, Thermal Die Regulation, Thermistor Input, Timer, USB Input	-40 to +85	TDFN-EP/14	\$1.56	

Tabla 3 - Comparación de ICs

De entre estos, el que ofrece mayores posibilidades con un menor número de elementos necesarios (no necesita I2C, SMBus o algún otro tipo de interfaces de control) es el MAX8606, por lo que será el integrado que usemos para nuestro proyecto.

Si destacamos algunas de las características principales (para características completas ver el datasheet en el Anexo 3)

- Es de reducido tamaño: encapsulado 14 TDFN
- Permite seleccionar diversas intensidades de carga (100mA, 500mA y hasta 1A)
- Entrada mediante USB o adaptador AC
- Protecciones contra sobretensiones
- Control de temperatura
- Entrada de termistor NTC
- Banderas de estados de carga y detección de entrada de alimentación (posible uso con LEDs)
- Timer interno o externo
- Fases de precarga, carga rápida y fin.
- Entre otras...

6.1.2. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo que describe el integrado es el siguiente:

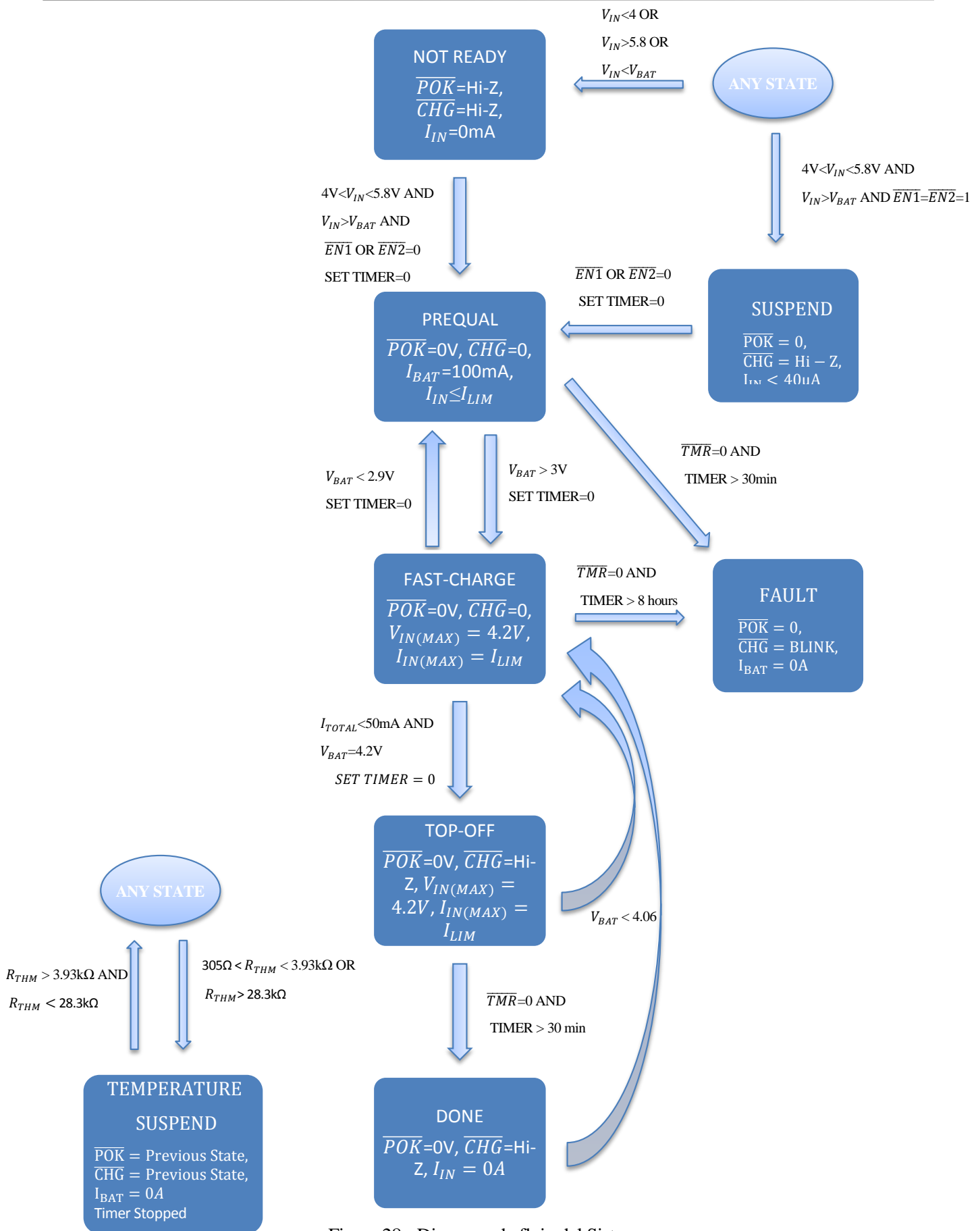


Figura 28 - Diagrama de flujo del Sistema

6.1.3. Entradas y salidas del MAX8606

Las entradas y salidas del integrado son las siguientes:

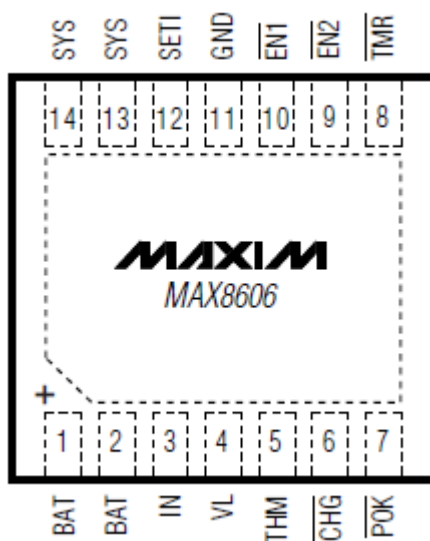


Figura 29 - Encapsulado del MAX8606

Si comentamos la funcionalidad de cada una:

PIN	NOMBRE	FUNCIONALIDAD
1, 2	BAT	Conexión de la batería
3	IN	Entrada de energía
4	VL	Salida lógica y de 3.3V
5	THM	Entrada para el termistor
6	\overline{CHG}	Salida del estado de carga
7	\overline{POK}	Monitor de entrada de energía correcta
8	\overline{TMR}	Selector de timer (interno o externo)
9	$\overline{EN1}$	Entrada 1 para la selección de intensidad
10	$\overline{EN2}$	Entrada 2 para la selección de intensidad
11	GND	Tierra
12	SETI	Entrada de programación de intensidad de carga
13, 14	SYS	Salida del sistema
-	EP	Aleta de disipación

Tabla 4 - Descripción de los pines del MAX8606

6.1.4. Funcionamiento del Sistema

- Perfil de carga:

Cuando conectamos una batería con una tensión inferior a los 3V, el sistema entra en estado de precarga, proporcionando una intensidad de 100mA. Una vez pasa de los 3V, comienza la fase de carga rápida, en la que la intensidad estará ajustada mediante las entradas $\overline{EN1}$ y $\overline{EN2}$. El LED verde indica el estado de carga. Cuando la tensión de la batería alcanza los 4.2V, se reduce la intensidad de carga, y cuando baja de los 50mA, el LED verde se apaga indicando que la batería está cargada. Si durante la carga de la batería, la temperatura excede los 100°C se reducirá la intensidad de carga.

- Temporizador de carga:

El MAX8606 incluye un temporizador de 30 minutos de precarga, un temporizador de carga rápida de 8 horas, y un temporizador top-off de 30 minutos. La carga se suspende y el LED verde se apaga, si los estados de precarga o carga rápida no han acabado cuando expira el temporizador. Este integrado nos ofrece la opción de controlar los timer mediante un microprocesador externo, pero en nuestro caso conectaremos la entrada \overline{TMR} a tierra para usar los timers internos del integrado

- Salida \overline{CHG}

Se trata de una salida a drenador abierto que indica el estado de carga. Estará a nivel bajo durante los ciclos de precarga y carga rápida. Pasará a alta impedancia cuando la tensión de la batería llegue a los 4.2V y la intensidad baje de los 50mA. La salida \overline{CHG} también alertará al usuario en caso de fallo, el LED verde parpadeará a una frecuencia de 2Hz cuando excedan los temporizadores de carga. En tal caso habrá que desconectar la alimentación para resetear el IC.

- Control de temperatura

El MAX8606 incluye un limitador térmico que reduce la intensidad de carga cuando la temperatura interior excede los 100°C. La intensidad bajará 50mA por cada °C que supere los 100°C.

- Salida \overline{POK}

Salida a drenador abierto, estará a nivel bajo cuando se detecte una entrada válida, será aquella cuya tensión este comprendida entre los 4 y los 5.8V. Una vez que la entrada está estabilizada, el integrado será capaz de funcionar desde una tensión de 3.5V mientras que esta sea superior a la tensión de la batería en al menos 50mV. En cualquier otro caso, esta salida estará en alta impedancia.

- Entrada THM

El IC monitoriza la temperatura de la batería mediante un termistor NTC² que deberá estar cerca de la batería. Conectaremos una resistencia de 10K Ω con una β de 3500 Kelvin. El integrado monitoriza la resistencia desde este pin hasta tierra, y suspenderá la carga cuando sea mayor de 28.7K Ω o menor de 3.97k Ω , lo que significará que la temperatura de la batería estará fuera del rango [0-50°C]

² El funcionamiento se basa en la variación de la resistencia del semiconductor debido al cambio de la temperatura ambiente, creando una variación en la concentración de portadores. Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo [35]

Los estados de carga del integrado se resumen en la siguiente tabla [23]

V_{IN}	V_{BAT}	I_{BAT}	Led Rojo (\overline{POK})	LED Verde (\overline{CHG})	Estado
$\leq (V_{BAT}+250mV)$	No importa	0	Off	Off	Deshabilitado
$4.25 \leq V_{IN} \leq 5.8V$	$<3V$	100mA	On	On	Precarga
$4.25 \leq V_{IN} \leq 5.8V$	$3V \leq V_{BAT} \leq 4.2V$	500mA ó 100mA ³	On	On	Carga rápida
$4.25 \leq V_{IN} \leq 5.8V$	4.2V	$< 50mA$	On	Off	Top-off
$> 5.8V$	No importa	0	Off	Off	Sobretensión

Tabla 5 - Estados de carga

Tras conocer la funcionalidad de cada pin, el diagrama de flujo (para mayor detalle ver datasheet en Anexo 3) y el funcionamiento, procedemos a la selección de los componentes.

6.2. Selección de componentes

Para la selección de componentes seguiremos los consejos que nos da el fabricante en el datasheet.

Como pretendemos usar varias formas de alimentación para nuestro circuito, colocaremos a la entrada del circuito dos pines para la entrada de tensión y un conector micro USB. Además, como nos indica el fabricante, colocaremos una capacidad de 4.7 μ F entre el pin IN y GND del IC.

Entre VL y GND se colocará una capacidad de 0.1 μ F.

A la salida BAT le conectaremos un pin doble, con una conexión a BAT y otra a tierra, para conectar nuestra batería de litio.

A la salida del pin THM colocaremos un jumper ya que, nos permitirá medir la temperatura interna del integrado al colocar a continuación un termistor NTC de valor 10k Ω como nos indica el fabricante.

Colocaremos una capacidad de 4.7 μ F entre ambas salidas SYS conectadas y tierra, tal y como nos indica el fabricante, además de un pin. En este caso se nos recomienda usar una capacidad cerámica de X5R⁴ y colocarla tan cerca como nos sea posible del IC

A la salida de \overline{CHG} conectaremos un diodo LED y una resistencia.

En la salida \overline{POK} , al igual que la anterior, conectaremos un LED, una resistencia, y además una capacidad de 0.1 μ F como nos indica el fabricante.

En la salida SETI debemos colocar una resistencia para seleccionar la intensidad de carga en el caso de que

³ Según la conexión de $\overline{EN2}$ seleccionada. Ver tabla 7 para mayor detalle.

⁴ Tipo de condensador cerámico clase 2 (ofrecen una alta eficiencia volumétrica de búfer, bypass, y en aplicaciones de acoplamiento). Una capacidad X5R operará desde los -55 °C a los +85 °C con una variación de capacidad máxima del $\pm 15\%$. [36]

queramos cargar la batería con una intensidad distinta a 100mA o 500mA, tal y como se indica en la tabla 4.

Mediante la siguiente fórmula podemos seleccionar la resistencia que nos fijará la intensidad de carga:

$$R_{SET} = \frac{8000 * 2.1V}{I_{BAT} + I_{SYS}}$$

Ecuación 3 - Selección de R_{SET}

En nuestro caso, la colocaremos de 33k Ω , para obtener una intensidad a la salida de 509mA. Además conectaremos un jumper, que nos permitirá medir la intensidad con la que se carga en cada instante la batería. En el estado de carga rápida, la tensión de salida de SETI se regula a 1.4V ($\overline{EN1}$ bajo y $\overline{EN2}$ alto) o a 2.1V ($\overline{EN1}$ alto y $\overline{EN2}$ bajo). Como la intensidad de carga baja, V_{SETI} también. V_{SETI} se calcula de la forma:

$$V_{SETI} = \frac{(I_{BAT} + I_{SYS}) * R_{SETI}}{8000}$$

Ecuación 4 - Cálculo de V_{SETI}

Los componentes seleccionados se resumen en la siguiente tabla:

Identificador	RS-Reference	Vendor Reference	Descripción	Package	Price
C1	820-2787	GRM21BR61E475MA12L	Cerámico multicapa, 4.7uF, 25V	0805	0,036€
C2	869-2092	C0805C104M3RACTU	Cerámico multicapa, 0.1uF, 25V	0805	0,012€
C3	820-2787	GRM21BR61E475MA12L	Cerámico multicapa, 4.7uF, 25V, Dieléctrico X5R	0805	0,036€
C4	869-2092	C0805C104M3RACTU	Cerámico multicapa, 0.1uF, 25V	0805	0,012€
R1	223-0629	CRG0805F33K	33K Ω	0805	0,02 €
R2	740-9022	CR0805-FX-3300GLF	330 Ω	0805	0,01€
R3	740-9022	CR0805-FX-3300GLF	330 Ω	0805	0,01 €
R4	678-4684	CRCW0402100KFKED	100K Ω	0603	0,04 €
D1	692-0947	LTST-C171KGKT	LED Verde, 2.4V	0805	0,087 €
D2	692-0941	LTST-C171KRKT	LED Rojo, 2.4V	0805	0,087 €
T1	697-4610	NB12K00103KBB	Termistor NTC, 10k Ω , cte. de tiempo 5s	0805	0,232€
U1	-	MAX8606	Integrado de carga	14 TDFN	2,40€
J1	737-8782	2410-01	Conector micro USB, 30V, 1A	USB-UB-S	0,83 €

Tabla 6 - BOM

6.3. Diseño y fabricación de PCB

6.3.1. Diseño del esquemático

Para realizar el esquemático y layout del circuito usaremos un software gratuito, Eagle.

Iremos seleccionando los componentes, en concordancia con los seleccionados en el apartado anterior, los conectaremos para darle la funcionalidad deseada, y pasaremos a colocar los componentes de la mejor forma posible para el layout, optimizando espacio y siguiendo los requisitos de proximidad de ciertos elementos.

Para obtener la huella del integrado MAX8606 se ha utilizado la librería que proporciona Farnell.

Las conexiones serán las siguientes:

El pin \overline{TMR} lo conectaremos a tierra para así usar el timer interno del integrado.

Conectaremos externamente las dos salidas BAT tal y como nos indica el fabricante.

Haremos lo mismo con las dos salidas SYS.

Se dispone de dos entradas para la selección de la corriente con la que se cargará la batería en la fase de carga rápida, $\overline{EN1}$ y $\overline{EN2}$, según como combinemos ambas entradas la corriente será:

$\overline{EN1}$	$\overline{EN2}$	Modo
0	0	100mA
0	1	500mA
1	0	$8000 * 2.1V / R_{SET}$
0	1	Suspensión

Tabla 7 - Control de las entradas $\overline{EN1}$ y $\overline{EN2}$

En nuestro caso, fijaremos $\overline{EN1}$ a 0, y $\overline{EN2}$ la conectaremos a nivel alto o nivel bajo mediante un pull-up y un jumper, lo que nos permitirá cargar a 100mA, cuando lo conectemos a tierra, y a 500mA en el caso contrario, conectándolo a nivel alto.

Las salidas \overline{CHG} , \overline{POK} y $\overline{EN2}$ (esta última en algunos casos como comentamos antes) irán colocadas a nivel alto, concretamente a un jumper, en el que conectaremos una fuente de alimentación de 3,3V

El esquemático del sistema, quedará por tanto:

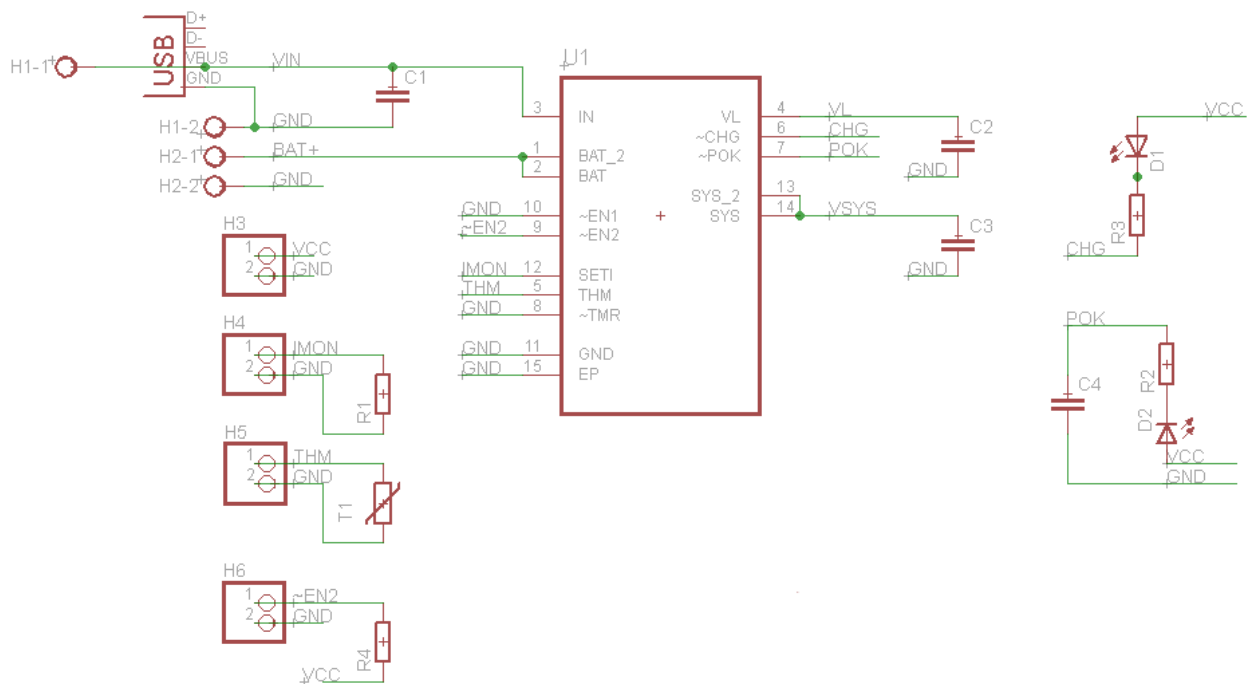


Figura 30 - Esquemático del Cargador

6.3.2. Diseño del layout

6.3.2.1. Primera versión

En una primera versión, procuramos poner cerca del integrado C1, C2, C3 y R1, tal y como se nos recomienda en el datasheet, colocando en otro bloque el resto de elementos: R2, R3, C4, D1, D2 y T1. Colocamos unos headers, que en ciertos casos funcionarán como entradas, y en otros como salidas o para medir tensiones intermedias.

Se han usado distintos anchos de pista, ya que las patas del integrado son muy pequeñas, y el resto de elementos de mayor tamaño, por eso hemos ido conectando distintos anchos de pista progresivamente.

Para acabar, hemos conectado un plano de tierra rodeando el circuito, quedando:

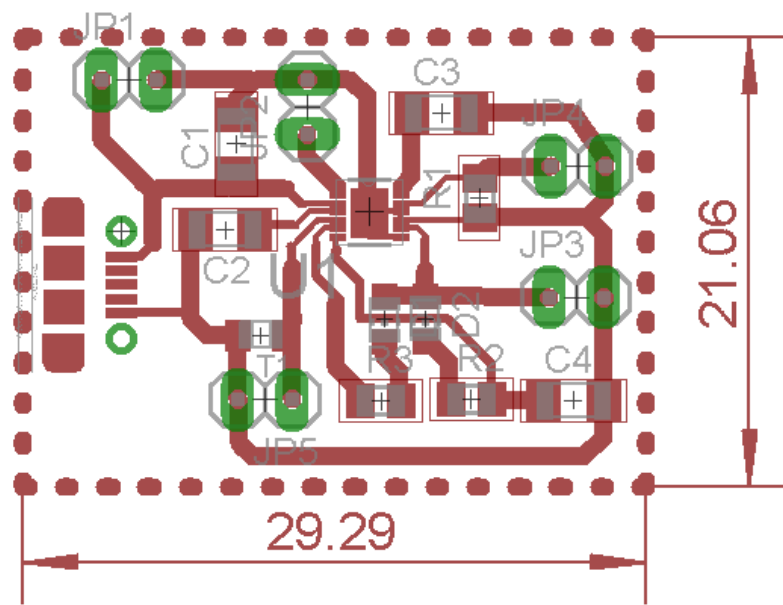


Figura 31 - Layout v1

Sin embargo, cuando vemos el diseño en una vista 3D, observamos que hay ciertas cosas que es mejor modificar:

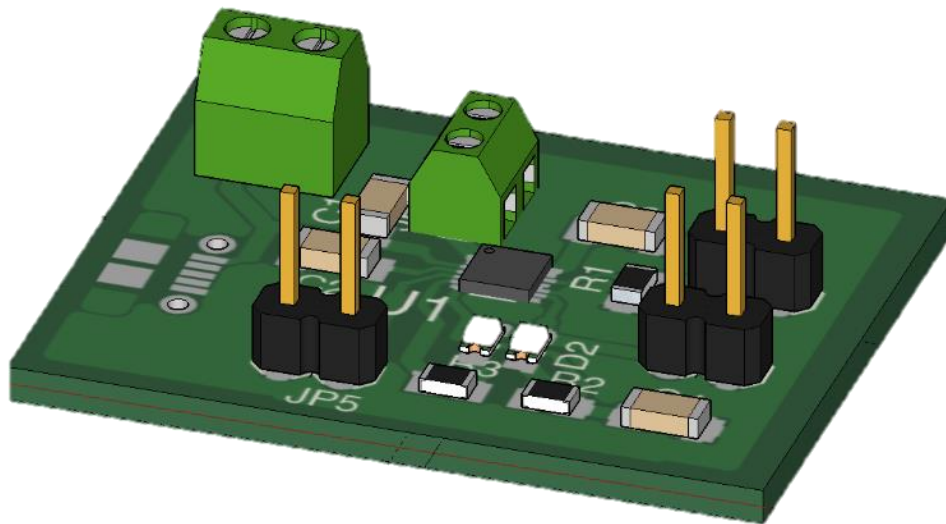


Figura 32 - Vista 3D del layout v1

Observamos que debemos girar los conectores JP1 de manera que quede saliendo desde el lateral izquierdo de la placa al igual que el USB, debemos girar JP2 para que las conexiones estén hacia el borde de la placa; y como modificaciones secundarias, girar 180° R1 y 90° C3 para que queden en paralelo side-by-side, ajustaremos la placa a medidas sin decimales, 30x20mm por ejemplo, y colocaremos cuatro mounting holes en las esquinas, de 3mm de diámetro, para facilitar su inserción en una caja con tornillos, levantarlo del suelo, etc. Además, añadiremos mayor funcionalidad, como comentamos en el apartado anterior, siendo posible modificar la conexión de $\overline{EN2}$ a nivel alto o nivel bajo, ya que como se ve en esta versión está siempre fijo a nivel alto.

6.3.2.2. Segunda versión

Tras las modificaciones comentadas anteriormente, el layout queda de la forma:

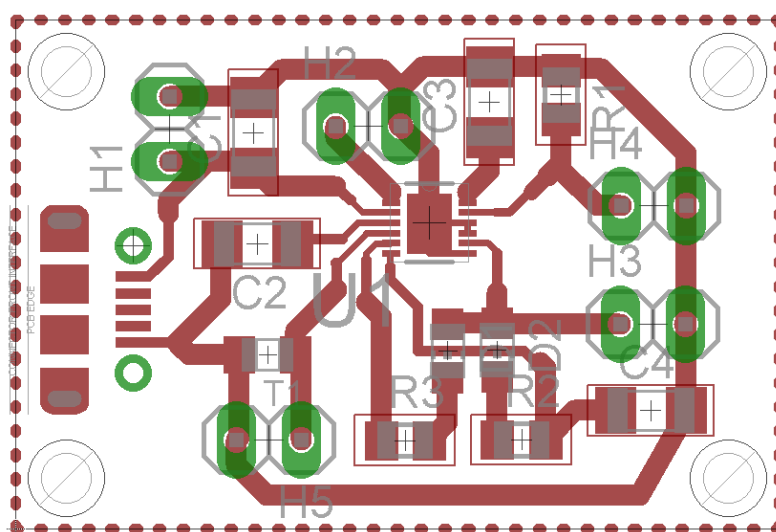


Figura 33 - Layout v2

Sin embargo, para poder ajustar nuestro diseño a una carcasa, tenemos que realizar algunas leves modificaciones de la placa, que no afectarán a penas en la colocación de los componentes

La carcasa tiene dimensiones 90x50mm, con unos orificios en las esquinas para atornillar la base con la tapadera, por lo que tendremos que aumentar el tamaño de nuestra placa. La versión final por tanto, quedará:

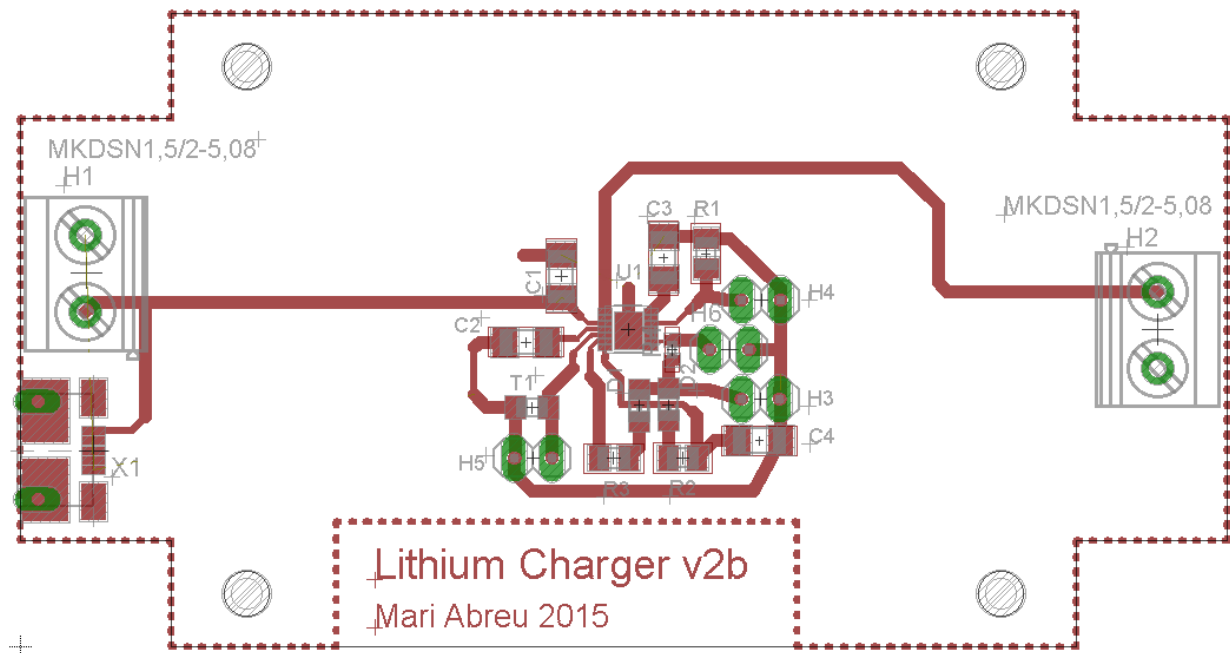


Figura 34 - Layout definitivo v2b

6.3.3. Fabricación del PCB

Procedemos, una vez tenemos el circuito diseñado, a la fabricación del PCB [24]

Existen diversos métodos de fabricación de PCBs, en este caso, debido a que se disponen de los elementos necesarios y es muy barato, usaremos la fotolitografía.

Una vez tenemos el diseño de Eagle, imprimiremos el PCB en papel blanco de acetato con efecto espejo para que no se produzcan reflexiones al insolar por el grosor del papel, de manera que la imagen a imprimir sobre la placa este totalmente en contacto con esta.

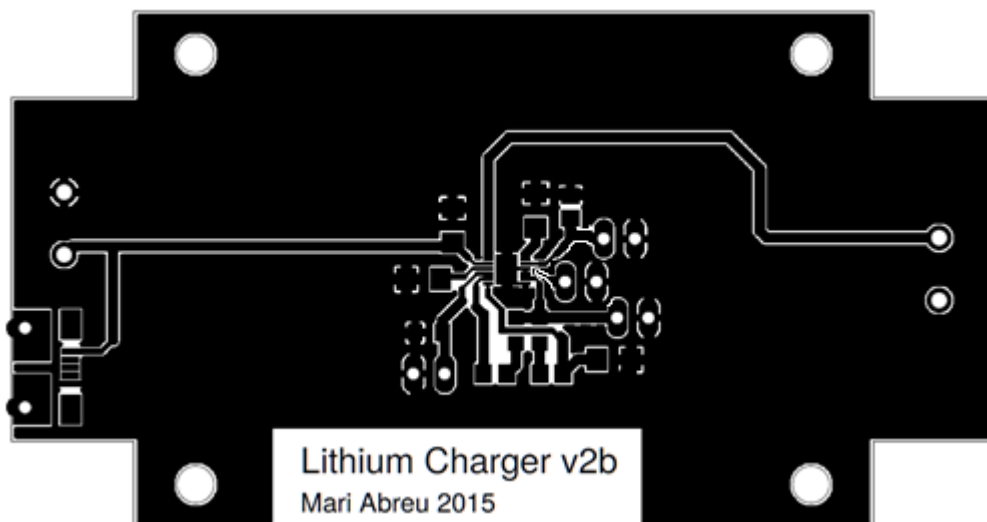


Figura 35 - Impresión del Layout en acetato

Procedemos a hacer las disoluciones para el revelado de la placa: para preparar el líquido revelador disolvemos una cucharada sopera de bicarbonato de sodio en un litro de agua; para el líquido atacante la proporción será 100cc de agua fuerte, 100cc de agua oxigenada y 100cc de agua, teniendo precaución con las salpicaduras al mezclar los líquidos.

Una vez tenemos las disoluciones, procedemos a revelar el PCB. Usaremos la insoladora de rayos UVA que eliminará la resina que cubre la cara fotosensible de la placa positiva que usaremos, en aquellas zonas expuestas directamente a la luz. En un ambiente con poca luz, despegaremos la cubierta adhesiva de la placa para dejar al descubierto su cara fotosensible que colocaremos hacia arriba, superponiendo el acetato con el circuito impreso, teniendo cuidado de colocarlo de la forma correcta, se imprimirá en la placa el circuito que vea directamente el observador. Haremos vacío y dejaremos actuar la radiación durante 2' 45".

Una vez saquemos la placa de la insoladora, podremos ver a la luz las diferentes zonas, observando el circuito dibujado. Sumergiremos la placa en el líquido revelador, que actuará de capa protectora sobre las zonas de la placa que no han sido insoladas; tras unos minutos la sacamos de la disolución y la enjuagamos. Ahora la introducimos en el líquido atacante, con cuidado de no salpicarnos; y tras varios minutos solo nos quedará enjuagar y secar bien la placa.

El líquido revelador puede volver a ser utilizado, sin embargo el líquido atacante pierde su fuerza corrosiva, por lo que se almacenará en un recipiente para que sea tratado adecuadamente.

Una vez tenemos el PCB se procede al taladrado de la placa para colocar los PADS de alimentación, medida y conexión de la batería.

Como tenemos los mounting holes de 3mm de diámetro, haremos estos orificios más grandes mediante una broca de mano. Como se puede observar en el diseño, la placa no es totalmente cuadrada, por lo que mediante una segueta le recortaremos las esquinas, limándolas después, al igual que los cantos, de manera que se ajuste al tamaño de la carcasa, el resultado final una vez taladrada y ajustada a la caja será:

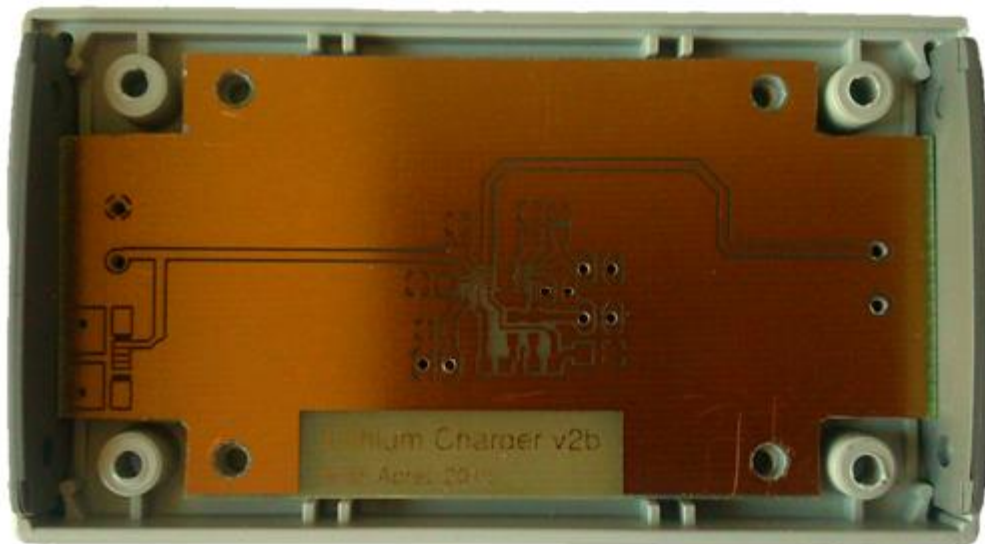


Figura 36 - Placa adaptada a la carcasa

En la placa aún permanece la capa de resina que protege al cobre de su oxidación, que deberemos retirar con acetona para que el estaño se adhiera bien.

6.4. Montaje de componentes

Se realizará una soldadura manual con estaño y pasta de soldadura, y ayudándonos con flux, para reducir tensiones superficiales y hacer más fácil la soldadura de los componentes a la placa.

Lo primero a soldar serán los componentes más pequeños, comenzaremos por el integrado de carga.

Tras ver la correcta colocación del integrado (la esquina marcada será la del primer pin, incrementándose en sentido anti horario visto desde arriba, ver Figura 29); echaremos una pequeña cantidad de pasta de soldadura mediante una jeringuilla, alinearemos con las pistas cada pata del integrado y aplicaremos aire caliente con una pistola de soldadura. Lo siguiente a soldar será el conector USB. Tras esto, iremos conectando resistencias, condensadores y diodos LEDS. Lo último a colocar serán los jumpers y los headers; para estos, fresaremos un poco la parte inferior de cada orificio que no vaya conectado a tierra; ya que al soldarlos, conectaremos el plano superior de tierra con el plano inferior de la placa.

Tras cada soldadura, procederemos a comprobar mediante inspección visual y multímetro para verificar todas las conexiones y aislamientos entre pistas adyacentes.

El resultado será:

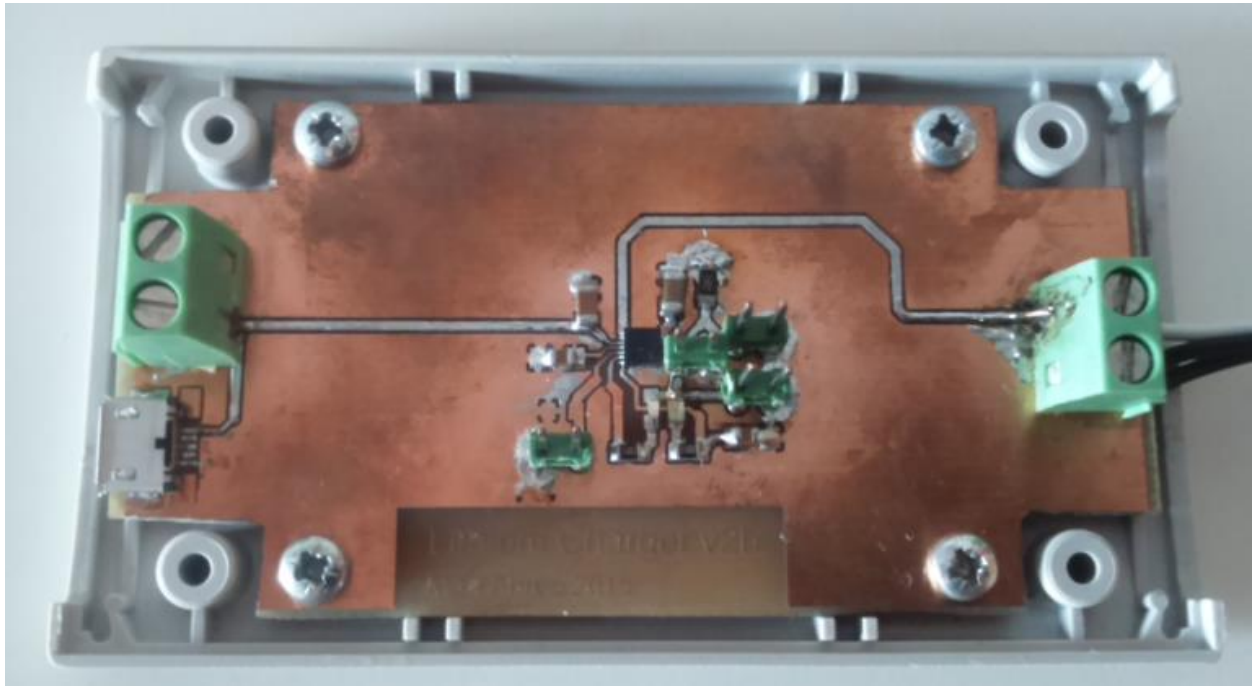


Figura 37 - Placa con componentes soldados

7. COMPROBACIÓN DE FUNCIONALIDAD

Lo primero que tendremos que comprobar, es que tenemos las tensiones esperadas en los pines tanto de entrada como salida. En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos en las medidas y los esperados:

PIN	V_medida	V_téorica
BAT	4.24	4.2
IN	4.92	[4.25-5.5]
VL	3.33	3.3
THM	0 (jumper a tierra al no usar termistor)	0
CHG	1.85 nivel alto, 0.04 nivel bajo	0.05 nivel bajo
POK	0.04	0.05
TMR	0	0
EN2	3.37	3.3
EN1	0	0
GND	0	0
SETI	1.98	$V_{SETI} = (IBAT + ISYS) \times R_{SETI} / 8000$ $= (IBAT + ISYS) \times 33 / 8 = 2.06$
VSYS	4.24	4.2 (=BAT)

Tabla 8 - Tensiones de los pines del integrado

Como podemos observar, los valores obtenidos son los esperados, procedemos a realizar las pruebas.

7.1. Modelo de comportamiento

Como comentamos en un apartado anterior, y podemos ver en la figura inferior, la curva de carga esperada del sistema es la siguiente:

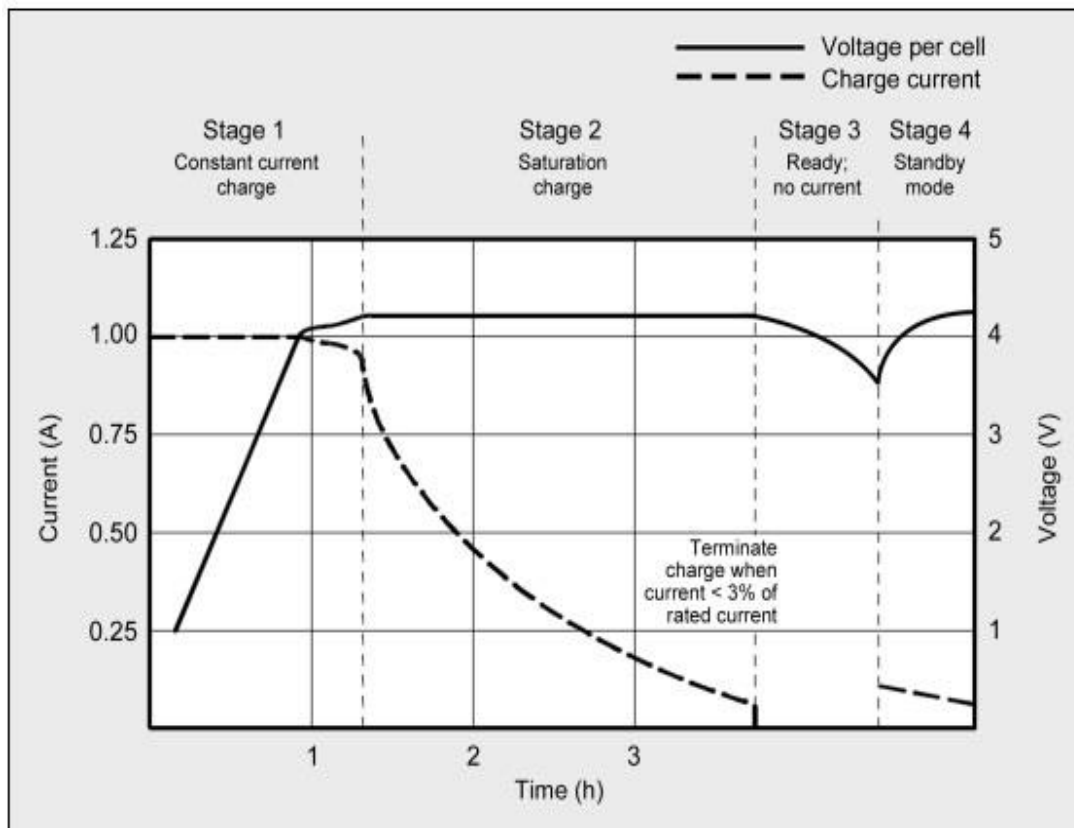


Figura 38 - Curva de carga simplificada [38]

Realizaremos diferentes pruebas, con diferentes baterías a distintas intensidades, verificando que las salidas en cuanto a tensión e intensidad son similares a las de Fase I y Fase II de la imagen anterior.

7.2. Recogida de datos

Para la recogida de datos se usará el microcontrolador STM32F030C8, programado con el ST-LINK/V2, herramienta para programar y depurar las familias de microcontroladores STM8 y STM32. Sensaremos la tensión en bornes de la batería cada dos segundos con el ADC y mediante la UART1 transmitiremos por el puerto serie al PC (mediante un adaptador de puerto serie a USB) usando PuTTY cada valor de tensión e intensidad proporcionado para cada instante de tiempo.



Figura 39 - ST-LINK/V2



Figura 41 - Adaptador puerto serie a USB

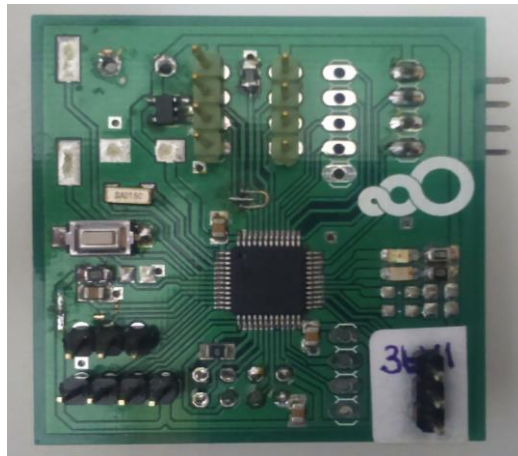


Figura 40 - STM32F030C8

La alimentación de la placa es a 3.3V, por lo que solo podremos medir hasta esa tensión; sabemos que la carga completa de una LiPo de una sola celda es de 4.2V; por lo que necesitaremos un divisor de tensiones entre el ADC y los bornes de la batería. El esquema sería el siguiente:

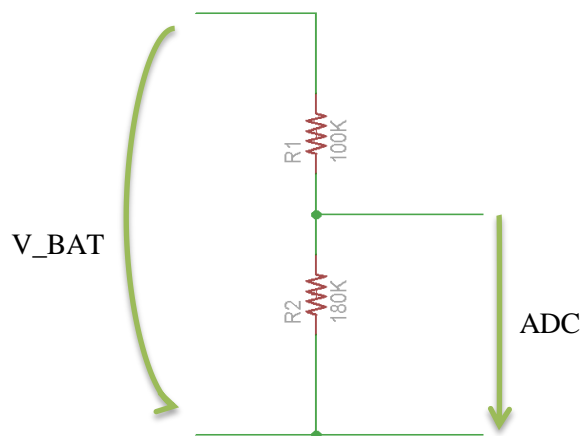


Figura 42 - Divisor de tensiones entre batería y ADC

Es conocido el inconveniente del efecto de inserción al medir intensidad, ya que modifica el valor medido al conectar un amperímetro, por la pequeña resistencia que posee el instrumento de medida. Este efecto no tiene una solución tecnológica simple. Tenemos dos opciones a la hora de medir intensidad, una resistencia Shunt o usando el efecto Hall.

En el caso Shunt, colocamos una resistencia en serie con la carga de manera que toda la corriente fluya a través de ella. Se elegirá una resistencia de muy alta precisión y de un valor muy pequeño para que la caída de tensión en ella a la hora de medir sea muy pequeña y no falsee demasiado la medida (del orden de 0.01Ω y tolerancia del 0.1%) La caída de tensión será proporcional a la intensidad que la recorre, siendo simple calcularla mediante la conocida ley de Ohm; necesitaremos además, un sistema que nos amplifique los valores de tensión medidos para poder conectarlos al ADC.

En el caso de que no queramos abrir el circuito para conectar un componente, usaremos el efecto Hall, midiendo la corriente de forma indirecta, al medir el campo magnético producido por el paso de la corriente por el cable. Se usarían las llamadas pinzas amperimétricas, rodeando el conductor sin necesidad de abrir el circuito. [25]

En nuestro caso, usaremos una solución mixta, constituida con un pequeño circuito de medida con el integrado ACS712ELECTR-05B-T de la compañía Allegro, que nos proporcionará una solución simple y económica para la medida de intensidad. El dispositivo consiste en un sensor de Hall lineal, de bajo offset. La corriente que circula a través de sus entradas producirá un campo magnético que será sentido por el integrado y convertido a la salida a un voltaje proporcional. La resistencia interna es de $1.2m\Omega$ por lo que las pérdidas serán muy pequeñas. Con solo un par de componentes tendremos una pequeña placa de medida que tras conocer la relación de transformación, nos dará valores bastante fiables.



Figura 43 – Sensor de corriente ACS712ELECTR-05B-T

Otra opción posible para medir la intensidad, se usará el H4, obteniendo una tensión proporcional a la intensidad que proporciona el integrado como sigue:

$$V_{SETI} = \frac{(I_{BAT} + I_{SYS}) * R_{SETI}}{8000}$$

Ecuación 5 - Cálculo de V_{SETI}

Una vez estamos recibiendo la secuencia de valores de tensión e intensidad para su correspondiente instante de tiempo, lo escribiremos en un fichero con una opción que nos proporciona PuTTY.

El fichero que obtendremos tendrá el aspecto siguiente:


```

----- PUTTY log 2015.07.13 11:56:31 -----
[00:10:02 13-04-15] 3122 2449
[00:10:04 13-04-15] 3128 2456
[00:10:06 13-04-15] 3132 2453
[00:10:08 13-04-15] 3138 2464
[00:10:10 13-04-15] 3133 2457
[00:10:12 13-04-15] 3134 2469
[00:10:14 13-04-15] 3135 2445
[00:10:16 13-04-15] 3141 2443
[00:10:18 13-04-15] 3142 2464
[00:10:20 13-04-15] 3138 2457
[00:10:22 13-04-15] 3140 2471
[00:10:24 13-04-15] 3145 2465
[00:10:26 13-04-15] 3145 2468
[00:10:28 13-04-15] 3148 2462
[00:10:30 13-04-15] 3145 2449
[00:10:32 13-04-15] 3148 2465
[00:10:34 13-04-15] 3148 2472
[00:10:36 13-04-15] 3152 2437
[00:10:38 13-04-15] 3148 2453
[00:10:40 13-04-15] 3152 2453
[00:10:42 13-04-15] 3154 2469
[00:10:44 13-04-15] 3149 2457
[00:10:46 13-04-15] 3148 2453
[00:10:48 13-04-15] 3153 2462
[00:10:50 13-04-15] 3156 2459
[00:10:52 13-04-15] 3157 2441
[00:10:54 13-04-15] 3158 2465
[00:10:56 13-04-15] 3160 2449

```

Figura 44 - Ejemplo de fichero de salida

Como podemos observar, presenta una cabecera con la fecha y hora del inicio de la obtención de los datos, luego presenta los datos en tres columnas, la hora a la que se obtiene cada valor, siendo la hora 00:00:00 la del instante de apertura del terminal, seguida de la fecha; en la segunda columna obtenemos el valor de la tensión de carga, en el rango 0-4095 y en la tercera columna el valor de la intensidad en el mismo rango que la tensión.

Mediante un script de MATLAB, leeremos el fichero de salida de Putty, pasaremos los instantes de tiempo del formato hh:mm:ss a minutos para una mejor representación, los valores de tensión al rango 0-5V y los de intensidad a un rango 0-500mA. Una vez tengamos los datos en el formato necesario, los representaremos en una única gráfica, compartiendo en el eje x el tiempo, y representando, en el lado izquierdo de la gráfica la escala de tensiones, y en el lado derecho la escala de intensidades, para poder ver a la vez ambas gráficas y poder comparar con los perfiles de carga típicos que tenemos.

En las tablas siguientes podemos ver la relación entre la salida del terminal y los valores reales de tensión o intensidad que se están produciendo.

Salida Putty	Valor real de Intensidad [mA]
2556	100
512	500

Tabla 9 - Relación salida ADC-Valor real de Intensidad

Salida Putty	Valor real de tensión [V]
2153	2.7
2393	3
2632	3.3
2782	3.5
2942	3.7
3103	3.9
3180	4
3289	4.125
3351	4.2

Tabla 10 - Relación salida ADC-Valor real de Tensión

7.3. Sistema Final

El sistema completo durante la carga con USB sería:

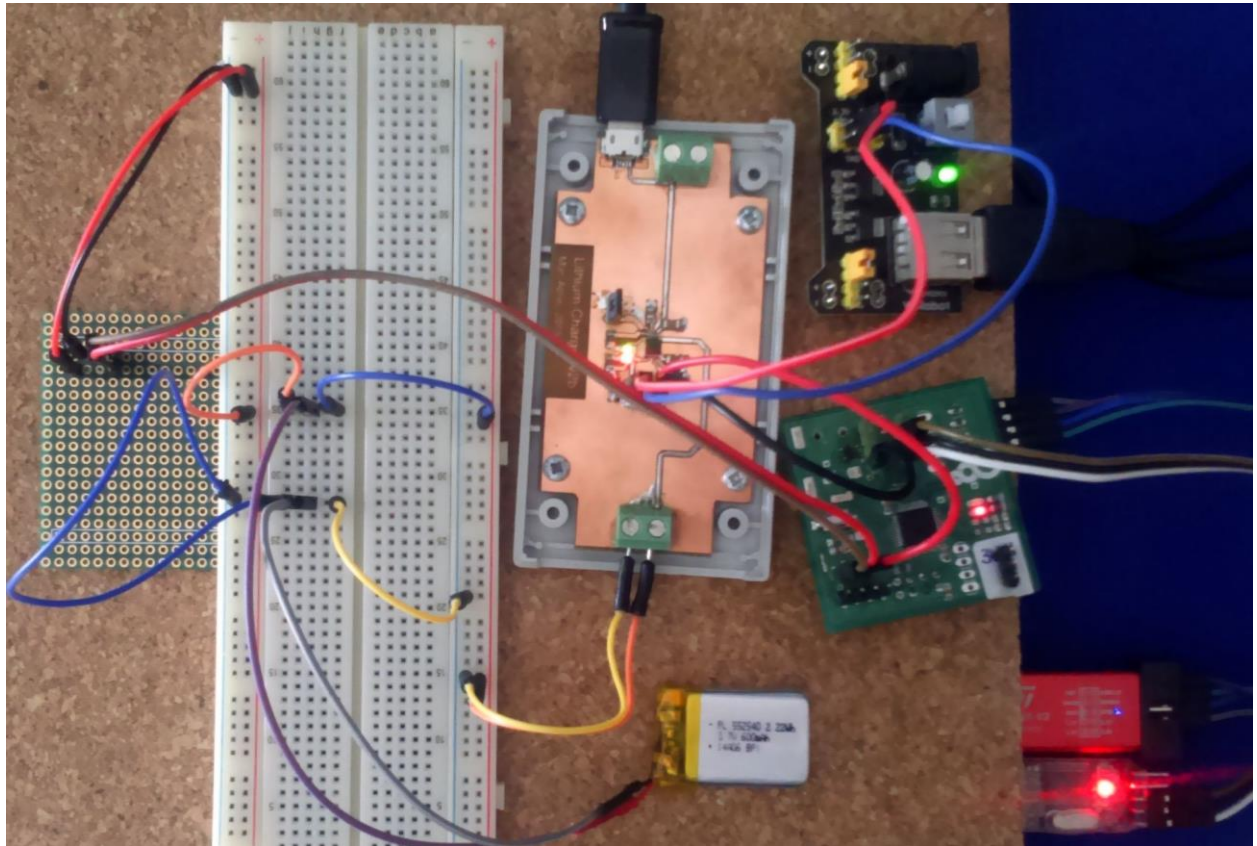


Figura 45 - Sistema completo durante la carga con USB

En el sistema anterior se pueden observar una placa negra no comentada hasta ahora, es la fuente externa mediante la que proporcionaremos los 3.3V para las salidas lógicas:



Figura 46 - Fuente de alimentación externa

Para las pruebas se usarán siete baterías distintas:

La primera, una LiPo de 350mAh:



Figura 47 - LiPo de 350mAh

Otra LiPo de 500mAh:



Figura 48 - LiPo de 500 mAh

Otra LiPo de 600mAh con sistema de protección:



Figura 49 - LiPo de 600mAh con sistema de protección

Otra LiPo de 600mAh, sin sistema de protección:



Figura 50 - LiPo de 600 mAh sin sistema de protección

Otra LiPo de 800mAh, con sistema de protección:



Figura 51 - LiPo de 800 mAh con sistema de protección

Otra LiPo de 1000mAh, sin sistema de protección:



Figura 52 - LiPo de 1000 mAh

Otra de 3000mAh, de iones de litio con sistema de protección:



Figura 53 - Li-Ion de 3000 mAh con sistema de protección

Las placas solares usadas son las MC-SP0.8-NF-GCS de Farnell, sin marco, con tensión de circuito abierto de 4.8V, corriente de cortocircuito 230mA y potencia nominal de 800mW



Figura 54 - Placa solar MC-SP0.8-NF-GCS

7.4. Resultados

7.4.1. Entrada USB. Carga a 100mA

En este caso, conectaremos el cable USB, ya sea desde el PC, desde un Hub alimentado, o desde un adaptador de pared. En nuestra placa, conectaremos un jumper en H6 de manera que el pin $\overline{EN2}$ quede conectado a tierra. Conectaremos los 3,3V en H3 para dar alimentación a los LEDs y sensaremos mediante H4 la intensidad de salida que está proporcionando el cargador. En H5 conectaremos otro jumper para conectarlo a tierra, ya que no haremos uso del termistor. A la salida, iremos conectando diversas baterías y mediremos tanto tensión a la salida como intensidad.

El sistema final sería el siguiente, donde se ha marcado la conexión del jumper en H6, para fijar la intensidad a 100mA.

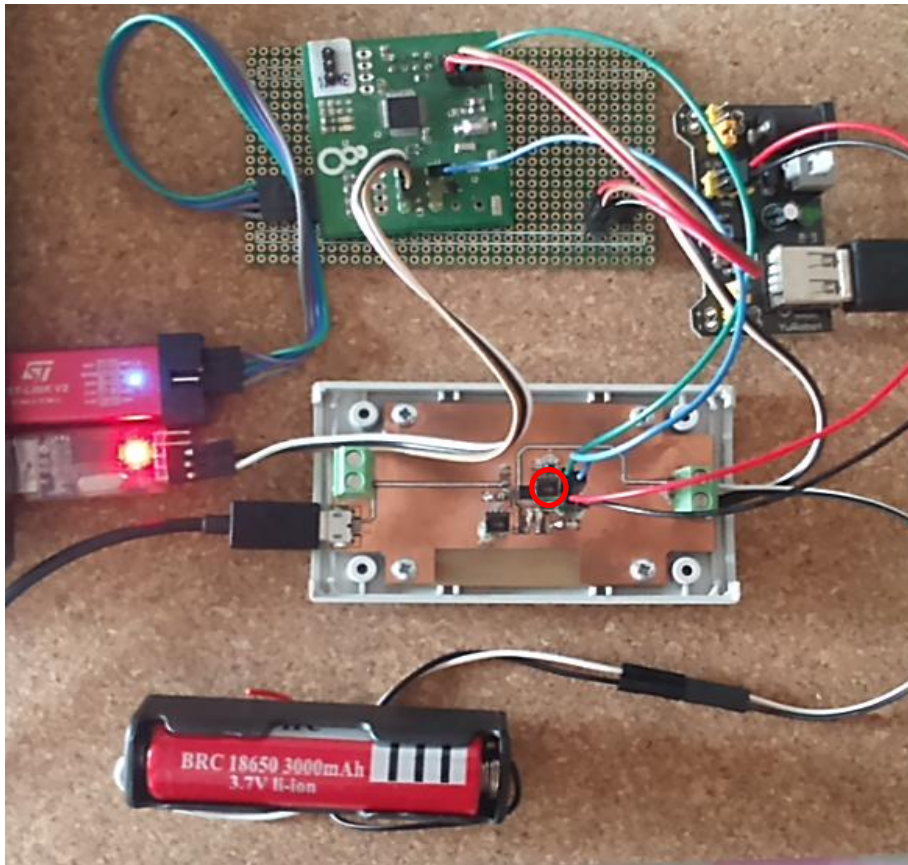


Figura 55 - Sistema completo para carga con USB a 100mA

a) Batería LiPo de 350mAh

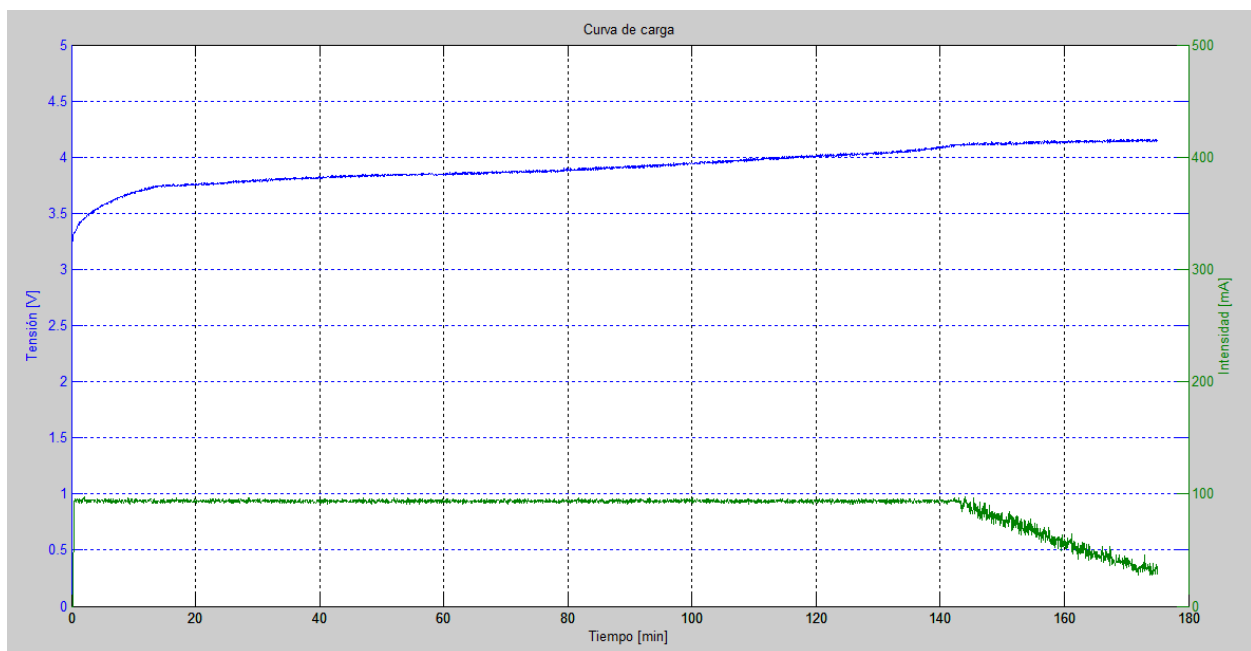


Figura 56 - Carga a 100mA de LiPo de 350mAh

Como podemos observar, sigue el perfil de carga esperado, hay un primer instante de tiempo en el que la curva de carga tiene mayor pendiente, para luego seguir cargando con una pendiente menor y de manera aproximadamente constante durante todo el tiempo que dura la fase I. Durante este intervalo de tiempo la intensidad se mantiene constante a 100mA aproximadamente, valor para el que habíamos configurado el cargador. Una vez la batería alcanza los 4.2V, se inicia la fase II, en la que la tensión permanece constante a ese valor, y la intensidad comienza a disminuir, hasta bajar de 50mA, donde la batería se da por cargada completamente.

b) Batería LiPo de 500mAh

Si a la salida de nuestro sistema conectamos una batería de 500mAh con una descarga bastante profunda, el resultado es el siguiente:

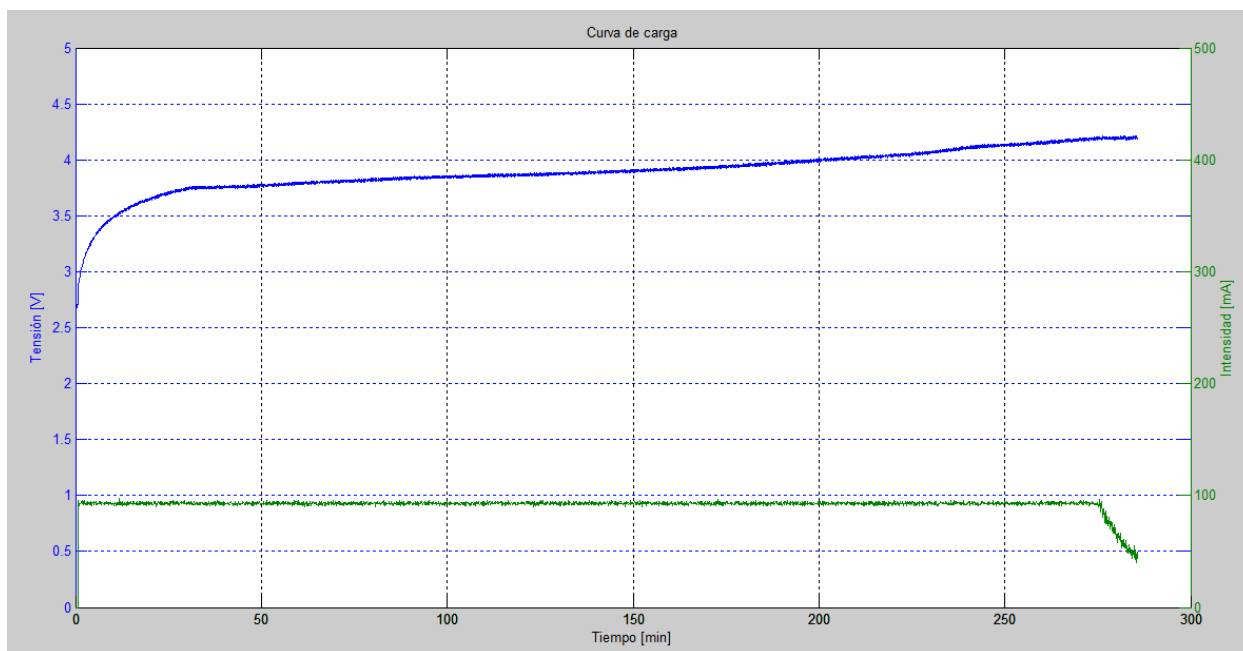


Figura 57 - Carga a 100mA de LiPo de 500mAh

c) Batería LiPo de 600mAh con PCM

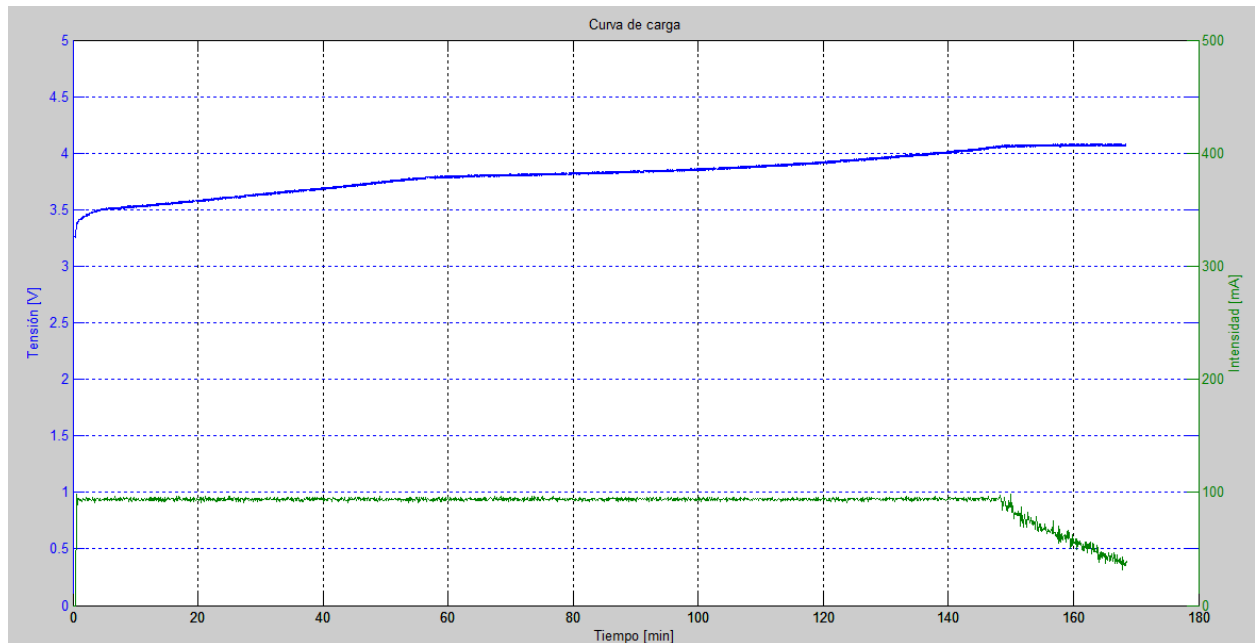


Figura 58 - Carga a 100mA de LiPo de 600mAh con PCM

d) Batería LiPo de 600mAh

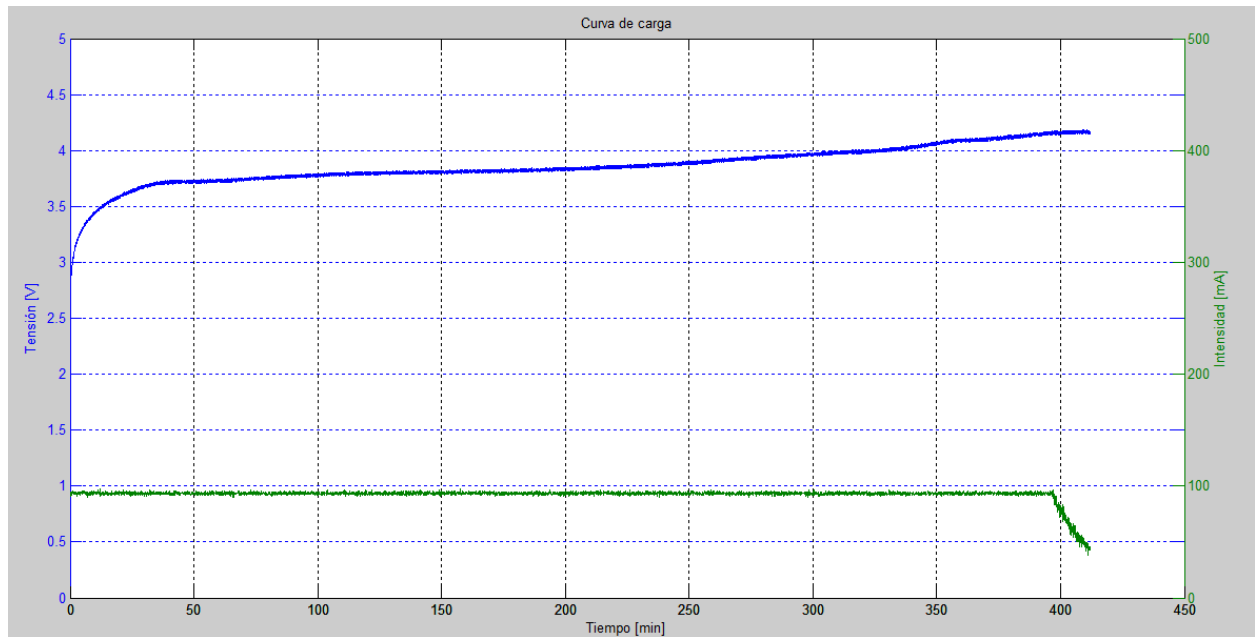


Figura 59 - Carga a 100mA de LiPo de 600mAh

e) Batería LiPo de 1000mAh

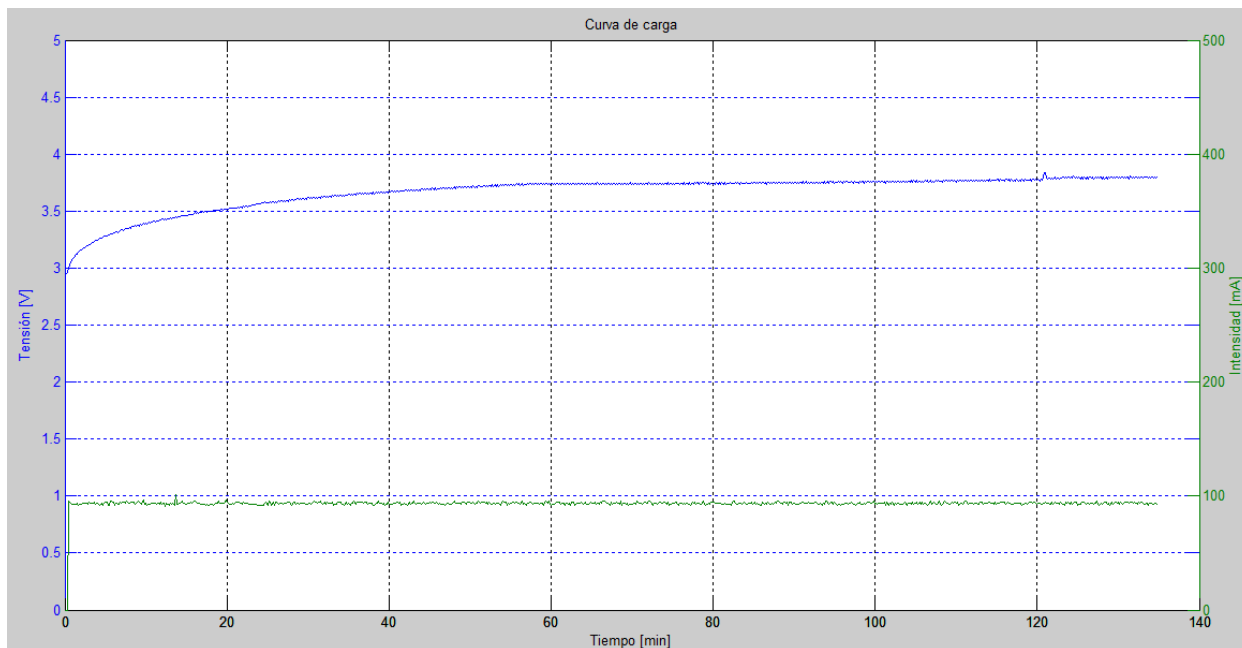


Figura 60 – Inicio de carga a 100mA de batería LiPo de 1000mAh

Se muestra el inicio de la carga, que como vemos sigue el perfil esperado en fase I.

7.4.2. Entrada USB. Carga a 500mA

En este caso, la modificación que realizaremos al sistema anterior será quitar el jumper de H6 de manera que el pin $\overline{EN2}$ quede conectado a los 3,3V de alimentación externos, ajustándose la carga a 500mA. Se ha remarcado en la imagen la conexión de H6 libre.

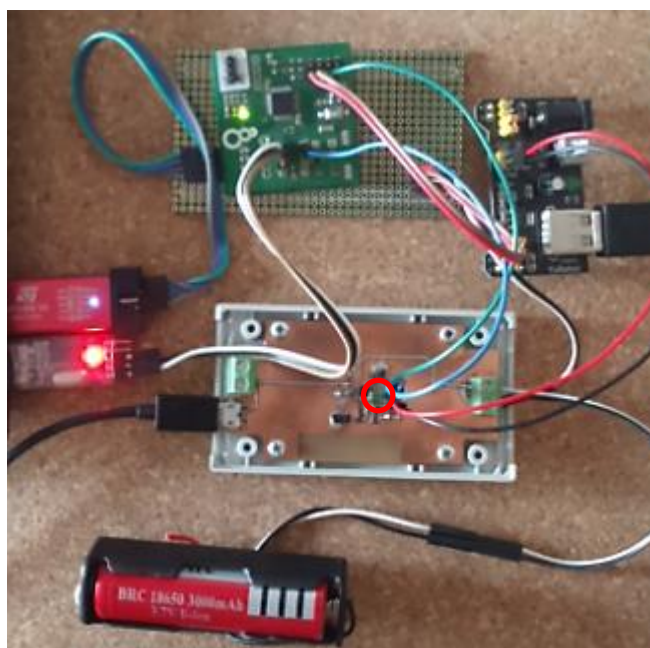


Figura 61 - Sistema completo para carga con USB a 500mA

Sin embargo, en este caso, al ser la intensidad de salida de 500mA, no podremos conectar el USB a cualquier sistema, necesitaremos una entrada que nos proporcione un nivel de intensidad mayor, por lo que no podremos usar el USB del PC ni un HUB que no nos proporcione salidas de más de 600mA, ya que en tal caso, observaremos como la intensidad se viene abajo, tal y como podemos apreciar en la imagen inferior:

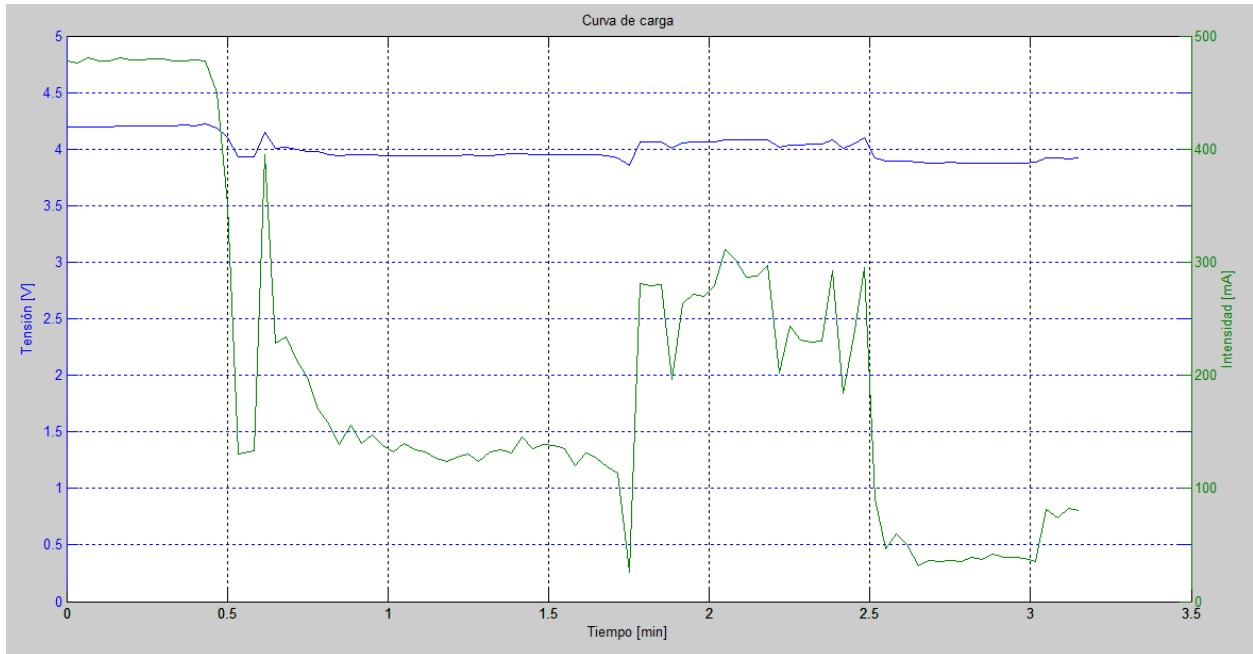


Figura 62 - Carga a 500mA desde PC

Sin embargo, si conectamos como entrada un adaptador de pared que nos proporcione al menos 850mA, el cargador funcionará sin problemas.

a) Batería LiPo de 500mAh

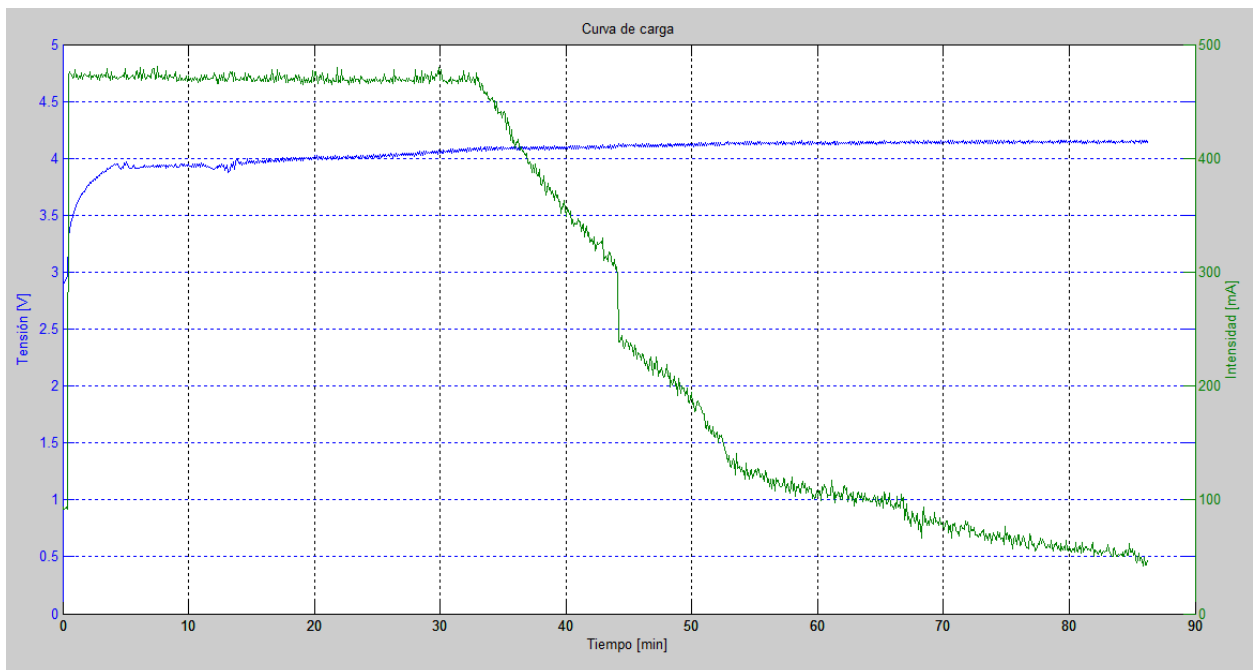


Figura 63 - Carga a 500mA de LiPo de 500mAh

b) Batería LiPo de 600mAh con PCM

Procedemos ahora a cargar una batería con sistema de protección, la mostrada en la Figura 49, dicha batería es de 600mAh, y la estamos intentando cargar a 500mA. Como ya se comentó en apartados anteriores, las baterías no han de ser cargadas a más de 1C, pero se recomienda que su carga sea aproximadamente a 0,5C. Es por ello, que al intentar cargarla por encima de 300mA (0.5*600mAh) se activa el sistema de protección, y podemos observar como la intensidad comienza a caer hasta cancelarse la carga, dejando nuestro cargador de reconocerla como batería a la salida (se apaga el LED verde)

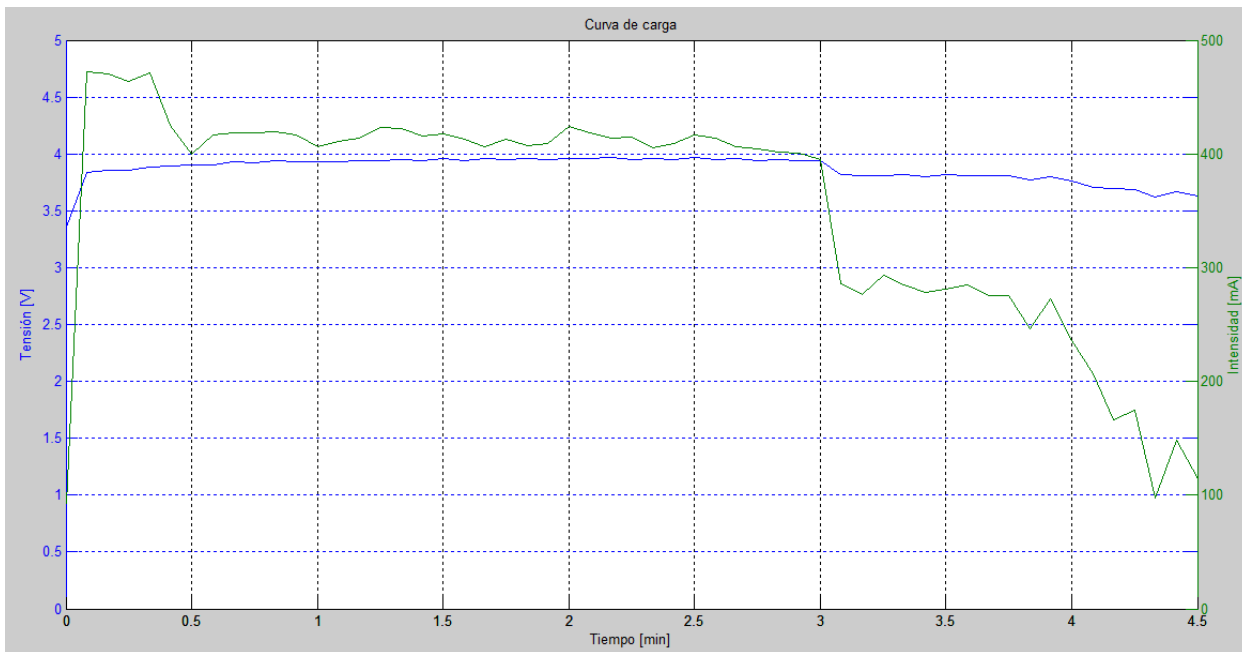


Figura 64 - Activación del Sistema de Protección de LiPo de 600mAh cargada a 500mA

c) Batería LiPo de 600mAh

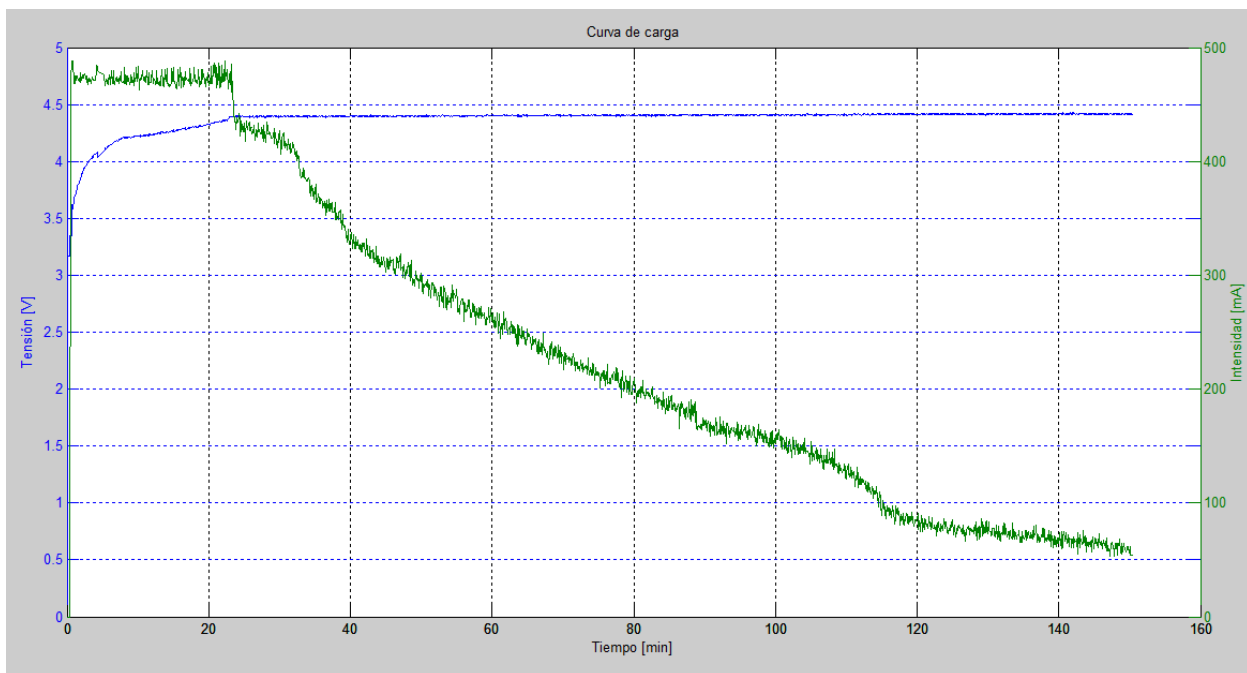


Figura 65 - Carga a 500mA de LiPo de 600mAh

Vemos como en este caso la carga se realiza sin problemas y en un corto instante de tiempo, en algo más de 20 minutos, aproximadamente, unas 5 veces menos que en la carga a 100mA que vimos en la Figura 59. Sin embargo el proceso tarda bastante más en la fase II.

d) Batería LiPo de 800mAh

Si cargamos ahora la batería de 800mAh con sistema de protección, dependiendo de cómo actúe dicho sistema, permitirá la carga a algo más de 0.5C o no:

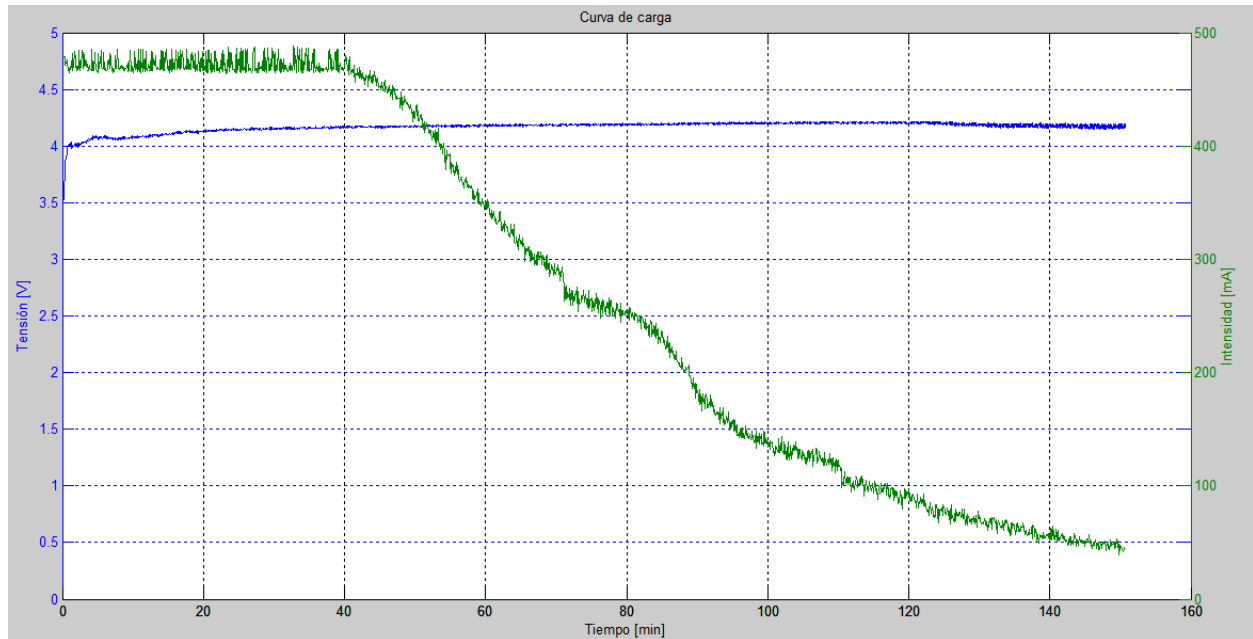


Figura 66 - Carga a 500mA de LiPo de 800mAh con sistema de protección

Como vemos, la carga se ha realizado perfectamente a 500mA, siendo esto algo más de 0.5C, sin embargo, el sistema de protección de dicha batería nos ha permitido hacer la carga a ese nivel de intensidad.

e) Batería LiPo de 1000mAh

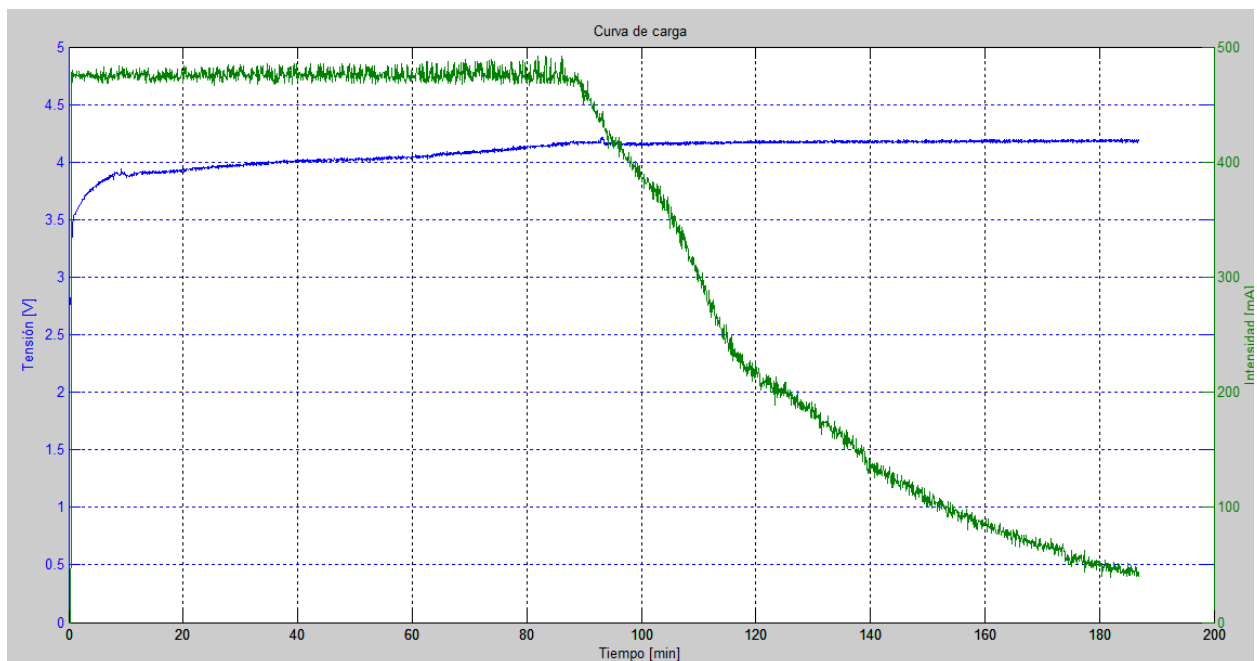


Figura 67 - Carga a 500mA de batería LiPo de 1000 mAh

Las gráficas 60 y 67 se han obtenido con la misma batería, pero con intensidades de carga distintas. Si comparamos ambas, vemos como en la superior (Figura 60) la primera parte de la Fase I, en la que la tensión de la batería pasa de 3 a 3.8V, se produce en aproximadamente en 50 minutos, mientras que en la imagen inferior (Figura 67) se produce en aproximadamente 10 minutos, lo cual tiene todo el sentido al ser la intensidad de carga 5 veces mayor.

Si comparamos las figuras 66 y 67 vemos que el tiempo empleado en la fase II es similar.

f) Batería Li-Ion de 3000mAh con sistema de protección

Como comentamos en un apartado anterior, el cargador se diseñaría para baterías de litio, por lo que además de cargar LiPos, también servirá para cargar baterías de Li-Ion, para demostrarlo, hemos cargado también una batería Li-Ion de 3000mAh, el resultado se puede ver en la siguiente gráfica, comprobándose que el cargador también funciona con este tipo de baterías:

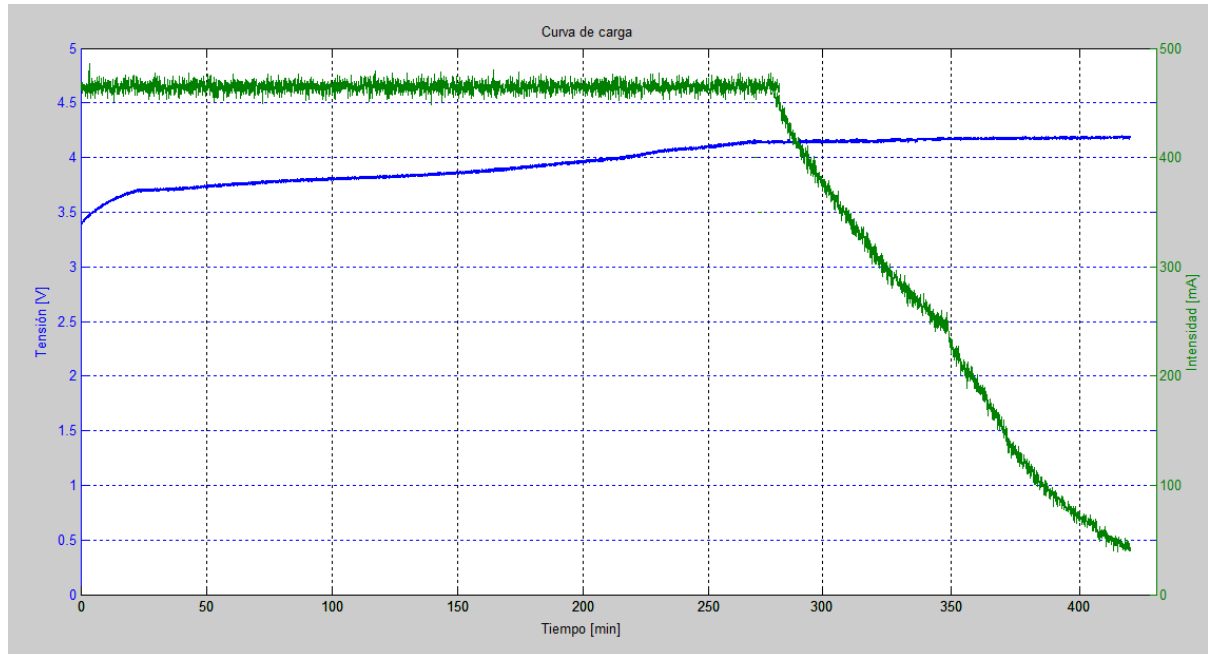


Figura 68 - Carga a 500 mA de Li-Ion de 3000 mAh

g) Otras medidas

Como se pudo observar en el diagrama de flujo del funcionamiento del integrado de carga de la figura 28, cuando la tensión de la batería es inferior a 2.9V, el sistema automáticamente inicia la fase de precarga, en la que sea cual sea el modo de carga elegido (mediante el uso de enables, regulando al intensidad a 100 o 500mA) comienza con 100mA, hasta que la batería alcanza los 2.9V, momento al que pasa a la intensidad elegida mediante los enables, ya sea manteniéndose en los 100mA o aumentando a los 500mA. En la imagen siguiente podemos ver el detalle de esa fase de precarga, cuando el método seleccionado es el de 500mA.

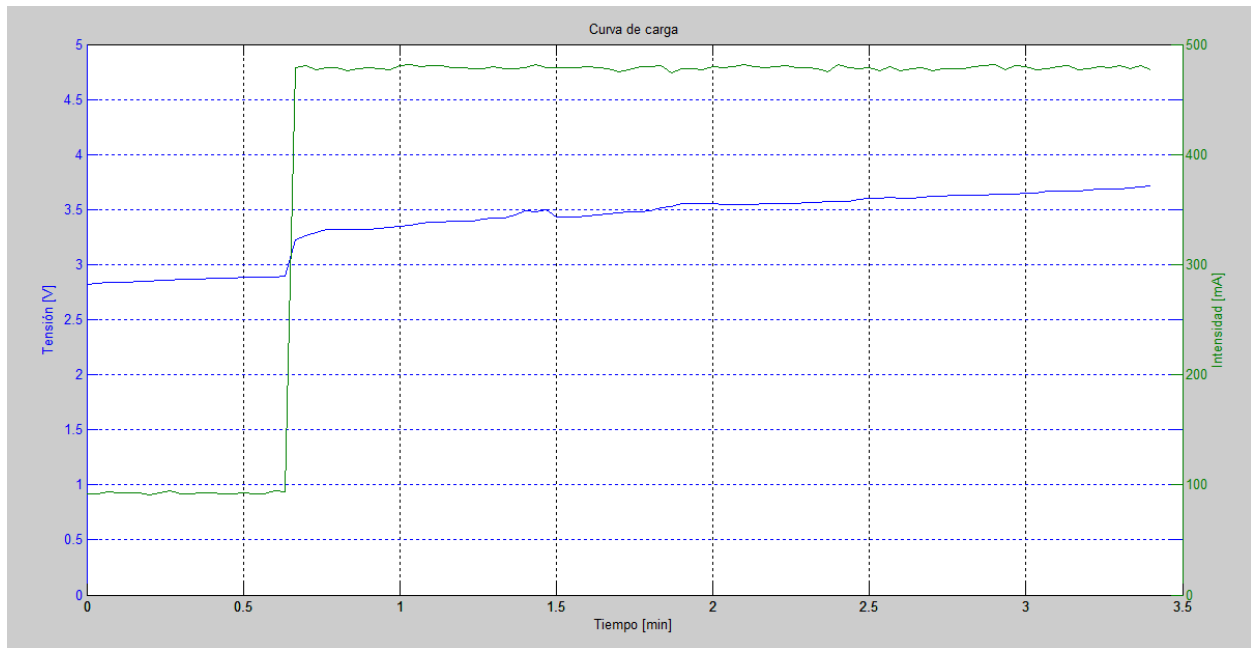


Figura 69 - Detalle de la fase de precarga

Comentamos al principio, la carga se realiza en dos fases. En la imagen inferior podemos observar el fin de la fase I y la fase II al completo; se aprecia claramente como la intensidad, mantenida a 500mA durante la fase I, comienza a bajar en la fase II, hasta bajar de los 50mA, momento en el que se da por terminada la carga de la batería, apagándose el LED verde, sin embargo, como podemos ver en la gráfica inferior, la intensidad sigue bajando hasta hacerse aproximadamente 0, momento en el que se dejará de aplicar intensidad a la salida.

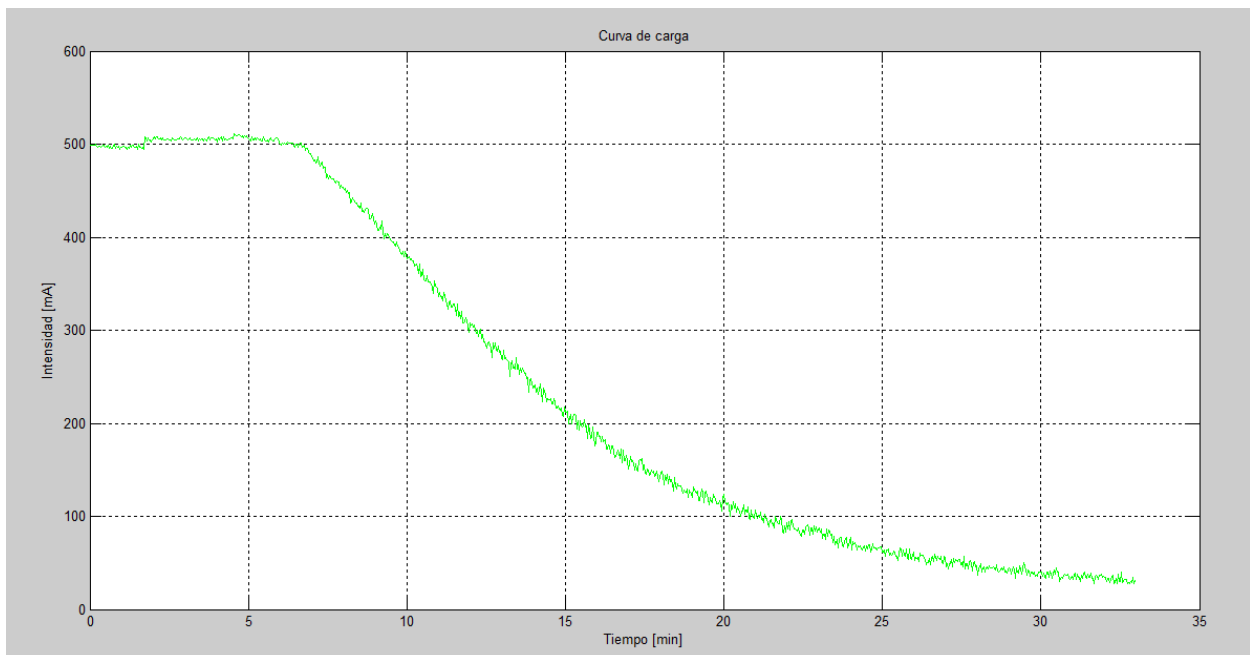


Figura 70 - Detalle de la Intensidad en fase II de carga

7.4.3. Entrada Placa Solar. Carga a 100mA

En este caso, en vez de conectar la alimentación a la placa mediante el USB hemos conectado, una o varias placas solares, dependiendo del modo de carga usado. Tanto en este caso como en el caso de 500mA, conectaremos directamente las placas a nuestro cargador, obviando el MPPT, tema que discutiremos más adelante. Tampoco usaremos diodos de bypass ya que, por lo general, no son necesarios en paneles con tensiones de funcionamiento inferiores a 24V.

Para la carga a 100mA, bastó con una sola placa solar, ya que su tensión es superior a los 4V de entrada necesarios, y nos proporciona hasta 230mA, suficientes para la salida de 100mA.

En este caso, el esquema de carga será el mismo que en el caso de carga a 100mA mediante USB, pero cambiando la entrada. En nuestra placa, conectaremos un jumper en H6 de manera que el pin EN2 quede conectado a tierra, se ha remarcado en rojo en la imagen. Conectaremos además las placas en H3 para dar alimentación a los LEDs y sensearemos mediante H4 la intensidad de salida que está proporcionando el cargador. En H5 conectaremos otro jumper para conectarlo a tierra, ya que no haremos uso del termistor. A la salida, iremos conectando diversas baterías y mediremos tanto tensión a la salida como intensidad, por lo que el sistema quedará:

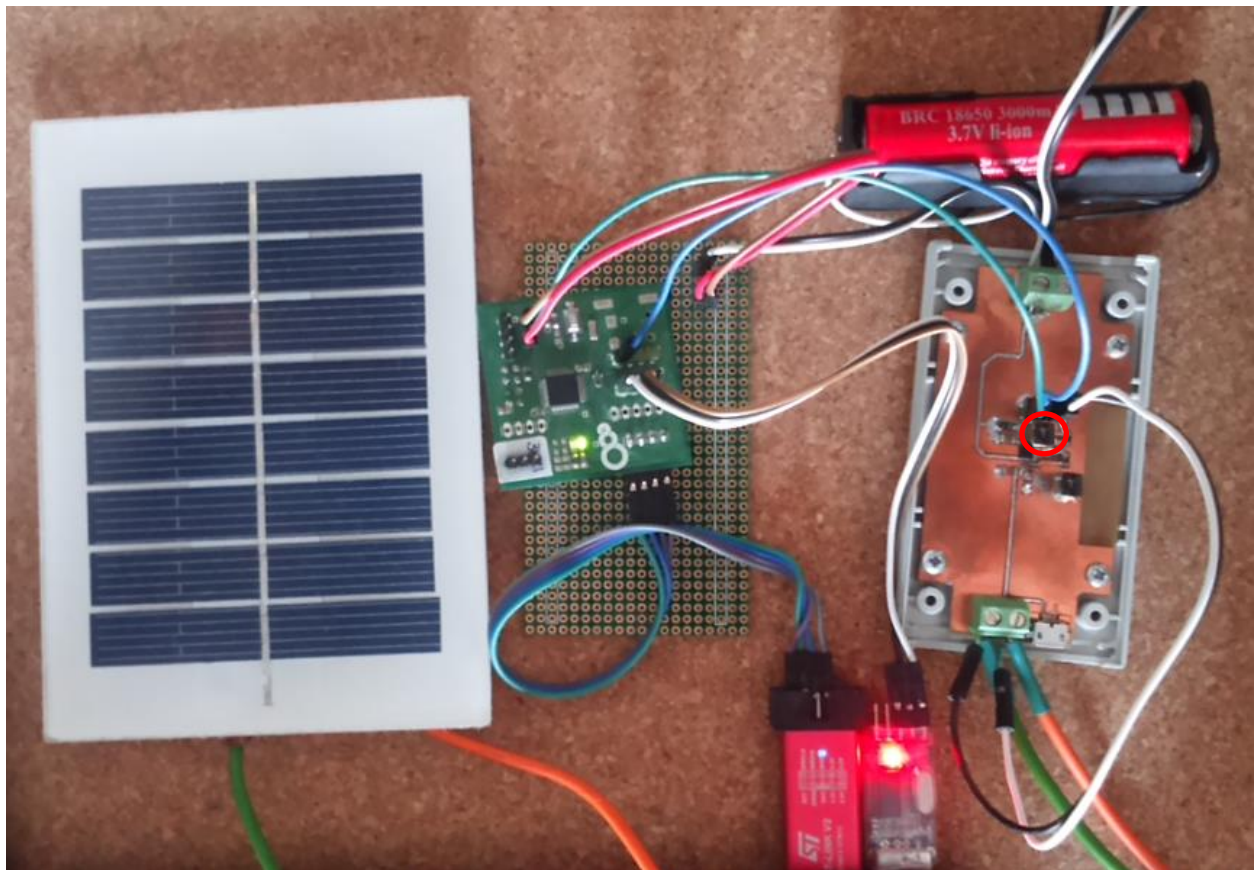


Figura 71 - Sistema completo para carga con USB a 100mA

a) **Batería LiPo de 350mAh**

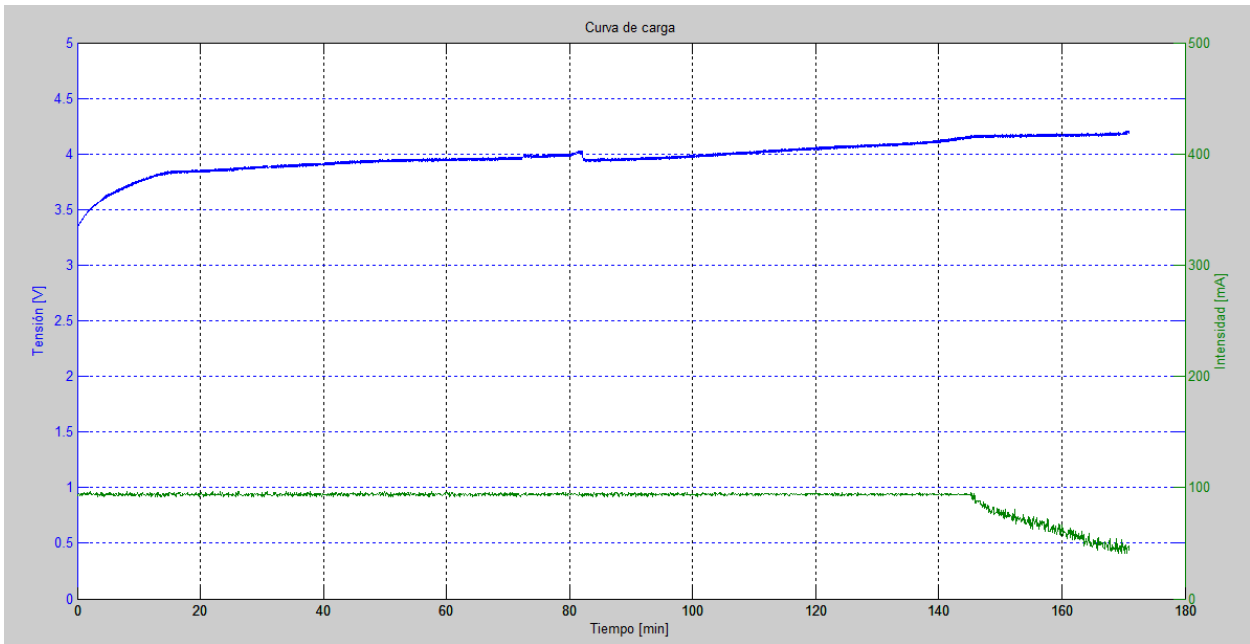


Figura 72 - Carga de Lipo de 350mAh a 100mA con placa solar

Como podemos observar, el tiempo invertido es de aproximadamente 180 minutos, exactamente igual que en el caso de entrada mediante USB, como podemos ver en la figura 56.

b) **Batería LiPo de 500mAh**

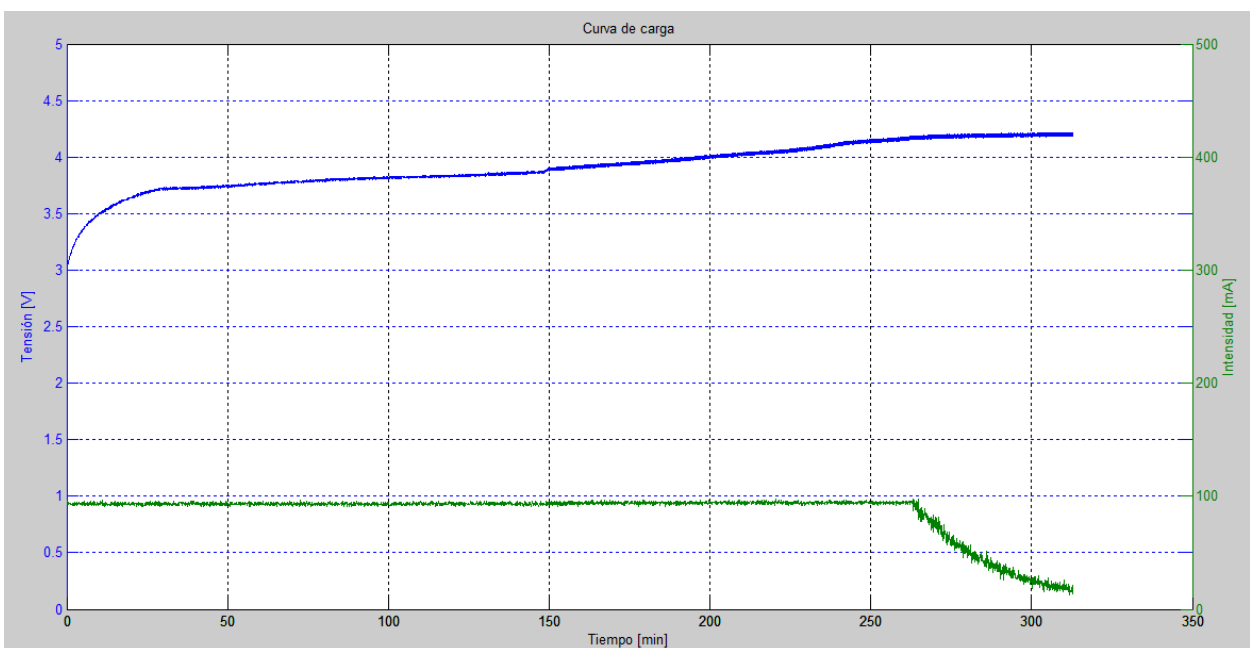


Figura 73 - Carga de Lipo de 500mAh a 100mA con placa solar

c) **Batería LiPo de 600mAh**

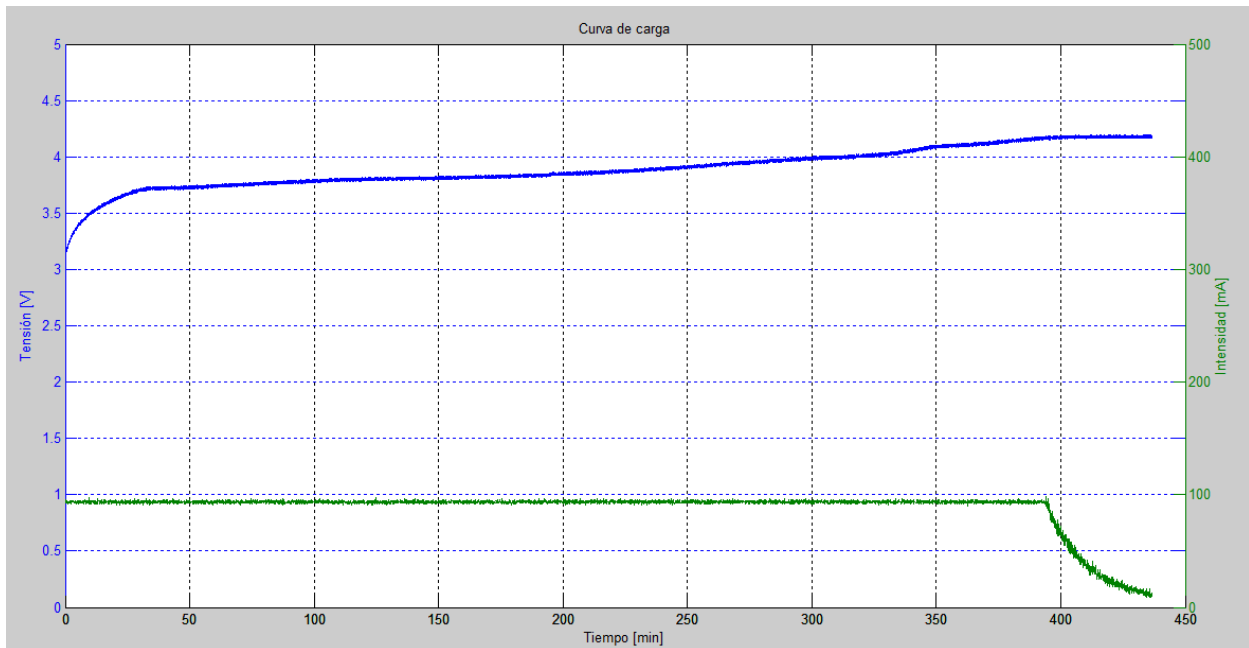


Figura 74 - Carga de Lipo de 600mAh sin sistema de protección a 100mA con placa solar

d) **Batería LiPo de 350mAh con PCM**

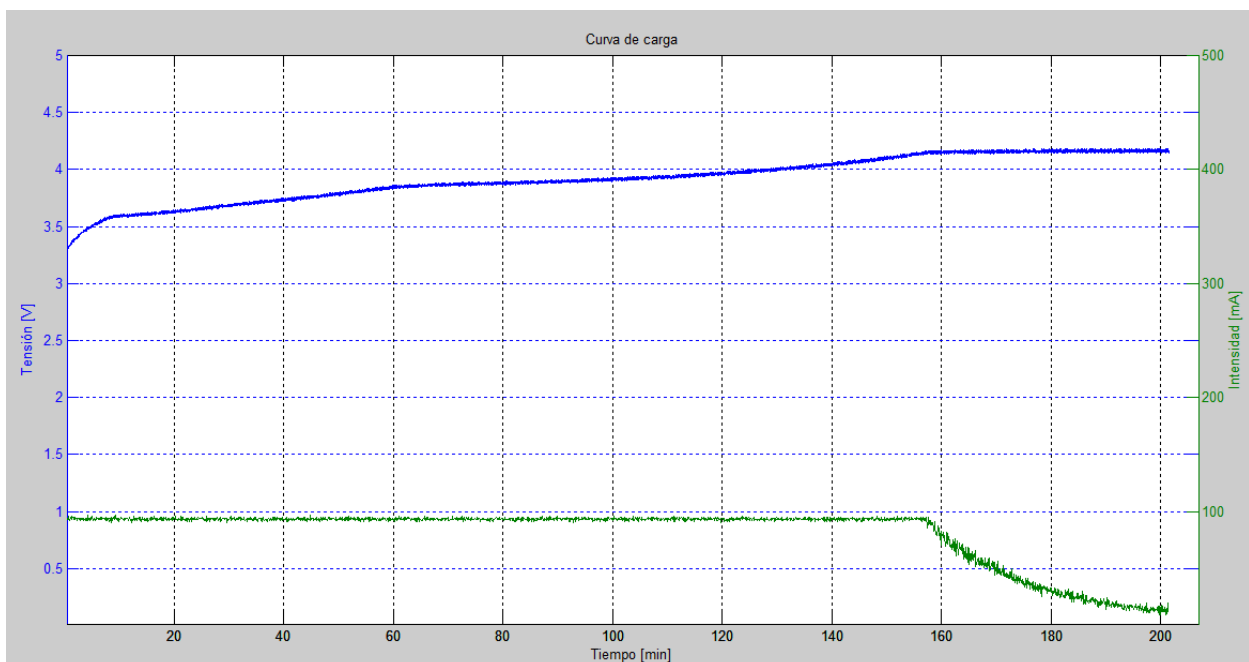


Figura 75 - Carga de Lipo de 600mAh con sistema de protección a 100mA con placa solar

7.4.4. Entrada Placa Solar. Carga a 500mA

Para el caso de la carga a 500mA hemos conectado dos y tres paneles en paralelo para así conseguir aumentar la intensidad de entrada, ya que en caso de conectar una sola placa no se detectaba la entrada como válida (el LED rojo permanecía apagado) Además, debemos quitar el jumper de H6 para conectar $\overline{EN2}$ a nivel alto. El sistema completo será:

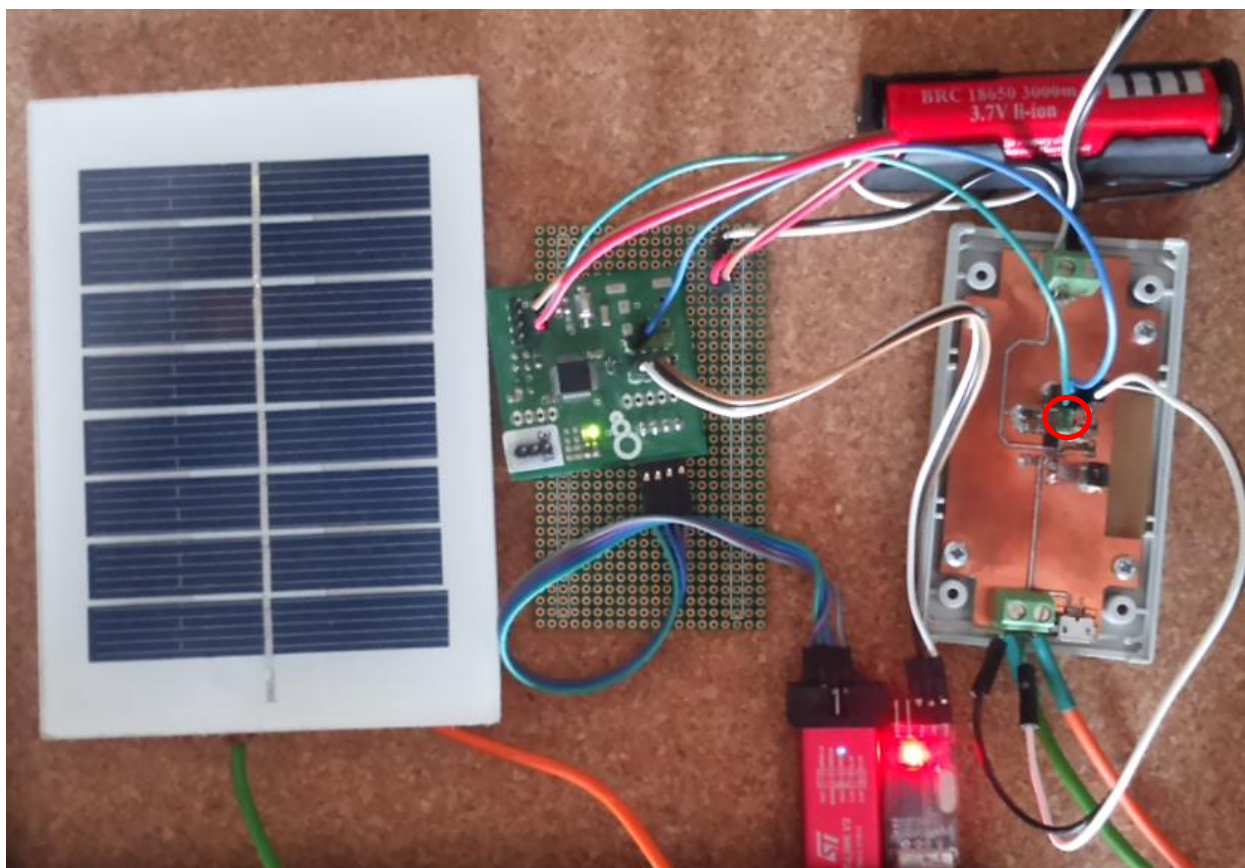


Figura 76 - Sistema completo para carga con USB a 500mA

Si probamos con dos placas, sabemos que la corriente de cortocircuito será de 460mA. Aunque en realidad, una corriente más útil para diseño sería la de máxima potencia ($2 \cdot 800\text{mW} / (0.8 \cdot 4.8\text{v}) = 416\text{mA}$). Conectamos el circuito y procedemos a realizar una carga. Como era de esperar, la intensidad comienza bastante por debajo de los 500mA, sobre unos 350mA. Sin embargo, en pocos instantes, esta comienza a caer como podemos observar en la imagen inferior:

a) Batería LiPo de 1000mAh con dos placas solares

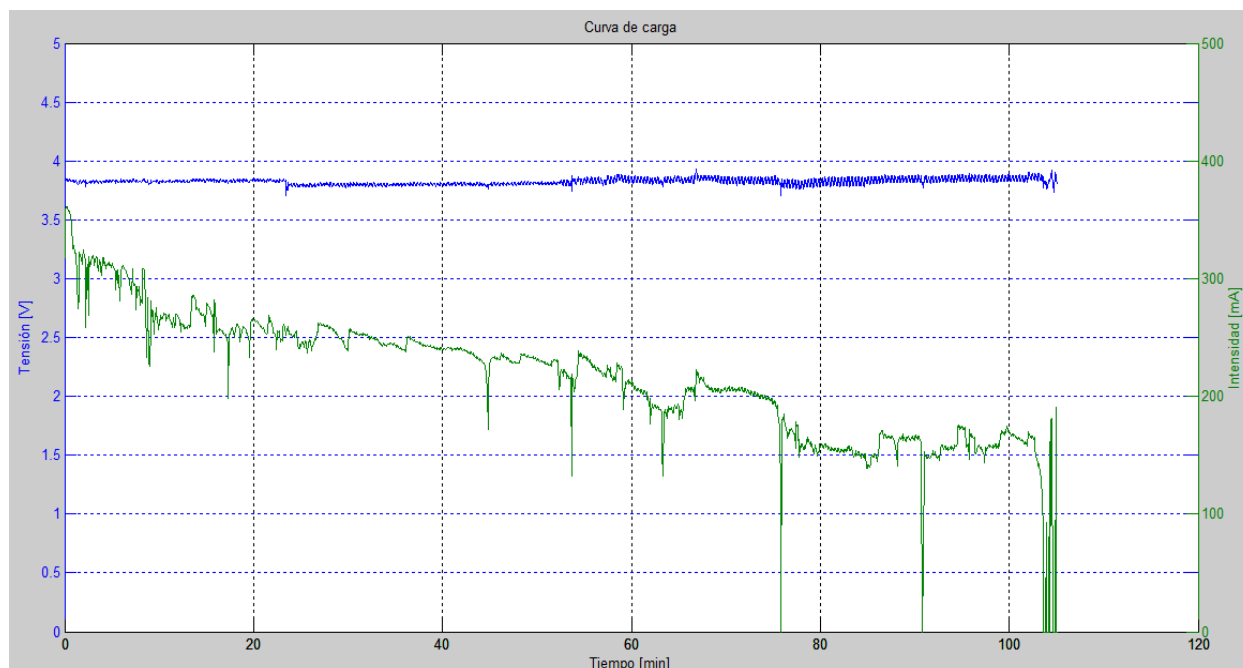


Figura 77 - Carga de Lipo de 1000mAh a 500mA con dos placas solares

Además, podemos ver el ruido en la medida de la tensión de la batería, de hasta 210mV y las variaciones de intensidad, que en pocos segundos llega a variar hasta 200mA, haciéndose 0 en ciertos instantes.

b) Batería LiPo de 1000mAh con tres placas solares

Probamos con tres placas, y aunque al principio el integrado comenzó proporcionando un nivel de intensidad aceptable, esta poco a poco fue cayendo como podemos observar en la figura inferior. Además, se producen bruscas variaciones de intensidad, llegándose a producir en pocos segundos variaciones de hasta 168mA, lo cual no es para nada deseable:

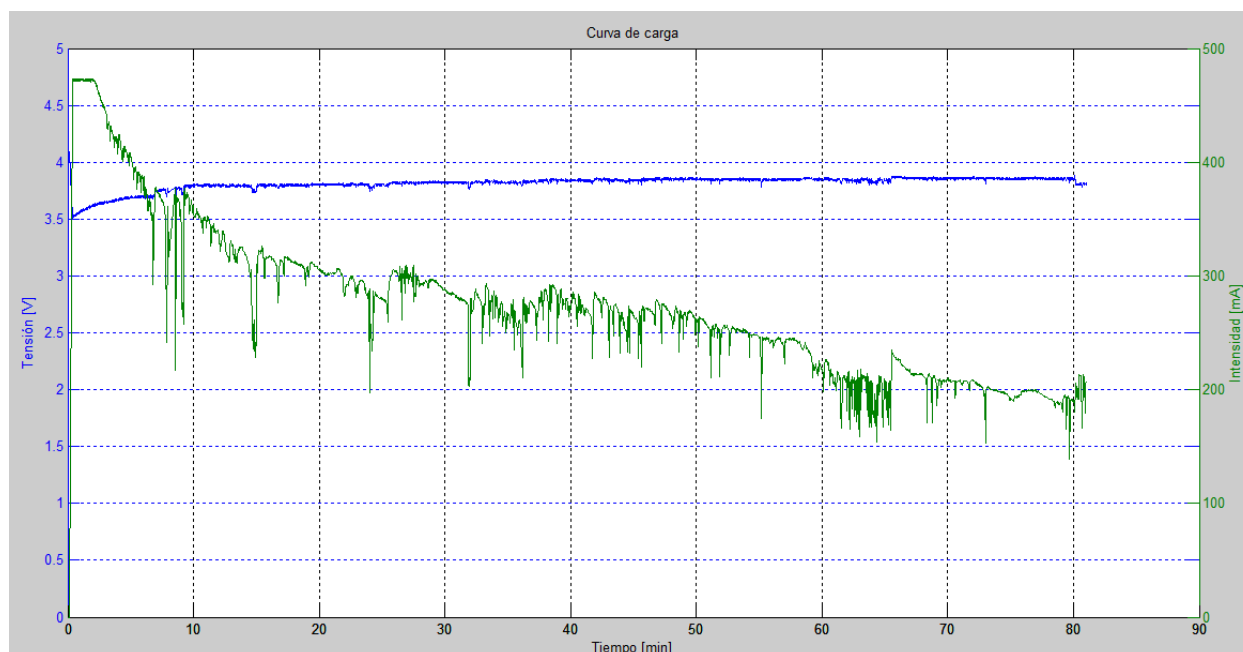


Figura 78 - Carga de Lipo de 1000mAh a 500mA con tres placas solares

Como la opción de las tres placas solares tampoco es eficiente, procedemos a obtener una gráfica de tensión e intensidad (mediante el sensor ACS712), proporcionadas por el conjunto de placas para así poder obtener la potencia suministrada por estas y sacar conclusiones de por qué no funciona. Dicha gráfica se ha obtenido en las mismas condiciones en las que se han realizado las cargas anteriores, un día despejado, con las placas orientadas hacia el sol, una inclinación de unos 25° y a partir de las 4 de la tarde. El resultado, tras 4 horas es el siguiente:

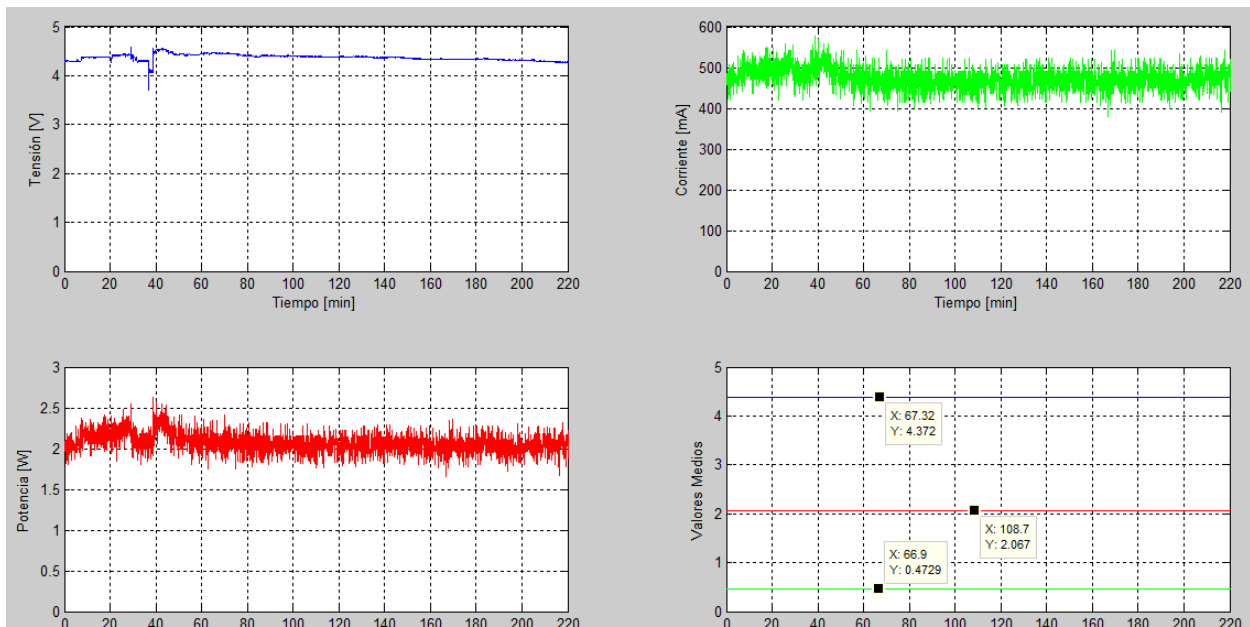


Figura 79 - Características experimentales del conjunto de 3 placas solares en paralelo

En la figura anterior hemos representado tensión, intensidad y potencia en gráficas individuales para poder observarlas mejor. Además, en una cuarta gráfica se ha representado la media de las tres anteriores. En esta última, podemos observar que la tensión media proporcionada por las placas es de 4.37V, lo cual es suficiente para toda la carga, puesto que en el datasheet se nos dice que necesita una tensión de entrada de al menos 4.25V, además, durante la carga, una entrada de más de 3.5V será válida siempre y cuando supere la tensión de la batería en al menos 55mV. La intensidad media sin embargo, es de 472mA, lo cual no llega a los 500mA que debería proporcionar nuestro cargador, razón por la cual no funciona como debería, además ese es el valor medio, el cual cae con bastante frecuencia por debajo de este valor hasta 455mA, razón por la que nuestro cargador no funciona. Necesitaríamos, al menos, una placa solar más, de la cual no disponemos. La potencia suministrada, teóricamente sería de 2.4W, al ser la suma de la potencia de las tres placas, sin embargo como esa es la máxima teórica, no es alcanzada como era de esperar, quedándose en unos 2.06W.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y TRABAJO FUTURO

8.1. Entrada USB

En el caso en el que la entrada se realice mediante USB, el cargador cumple totalmente su función, además podemos conectarlo casi a cualquier sistema, en el caso en que la carga sea a 100mA, aunque es algo más restrictivo en el caso de 500mA, ya que debemos conectarlo a fuentes que nos proporcionen más de 600mA.

Si resumimos en una tabla los tiempos de carga nos será más fácil compararlos:

Batería [mAh]	Carga a 100mA				Carga a 500mA			
	Fase I [min]	Fase II [min]	Energía suministrada [mWh]	Capacidad suministrada [mAh @ 3.7V]	Fase I [min]	Fase II [min]	Energía suministrada [mWh]	Capacidad suministrada [mAh @ 3.7V]
350	140	20	1465	396	-	-	-	-
500	270	20	1487	402	30	50	1406	380
600 con PCM	150	20	873	236	-	-	-	-
600	390	20	2205	596	35	110	2157	583
800	-	-	-	-	40	110	2487	675
1000	-	-	-	-	90	110	3618	978
3000	-	-	-	-	280	140	10138	2740

Tabla 11 - Tiempo de carga invertido en cada fase para cada batería según el modo de carga

Para el caso de 100mA, vemos como el tiempo de carga se va incrementando conforme se incrementa la capacidad de la batería en fase I, sin embargo, como era de esperar, en la fase II se invierte aproximadamente

la misma cantidad de tiempo.

En el caso de 500mA, en la fase I el tiempo se incrementa conforme aumenta el tamaño de la batería. En la fase II, excepto para la batería de 500mAh que tarda unos 50 minutos, el resto tarda aproximadamente el mismo tiempo, casi unas 2 horas. Es destacable que en este caso, se invierte más tiempo en la fase II que en la fase I para baterías relativamente pequeñas.

En el caso de la batería LiPo con protección, sale un poco de la media, tarda menos tiempo en fase I que el resto, esto es debido, a que posee sistema de protección, que impide descargarla por debajo de los 3.6V, y el resto de las baterías, comienzan la carga en unos 3V aproximadamente.

Además, hemos añadido dos columnas, en las que se computa la energía suministrada en mWh y la capacidad suministrada, en mAh para el valor de carga nominal de 3.7V, calculándolo a partir de la tensión e intensidad de carga y el tiempo invertido para ello. Vemos que en casi todos los casos el valor es inferior al teórico que nos indica el fabricante, como cabía esperar. El único valor que sale algo superior, es el de la batería de 350mAh, caso en el que la descarga era bastante profunda, aunque siempre cabe la posibilidad de confusión en el etiquetado de la batería por parte del fabricante.

Sin embargo, si comparamos la quinta y la novena columna, vemos que para una misma batería, en función del modo de carga, obtenemos valores de capacidad proporcionados distintos, y es que el proceso de carga depende de muchos factores: ciclos de carga, temperatura, tasa de carga... Se pueden deber dichas diferencias a varios factores: que al descargarse, haya quedado con una temperatura elevada, que modificaría su valor en la siguiente prueba; o que si la corriente de carga es elevada, la tensión suba demasiado deprisa y corte antes de tiempo. Hablamos en un principio de corriente de carga recomendada, dato genérico, por lo que no sabemos el de cada batería en particular.

8.2. Entrada solar

Hemos realizado pruebas con alimentación por placas solares, comparando con las pruebas en las que la entrada se realiza mediante USB, vemos que la energía solar no es lo más eficaz para este tipo de cargadores, cuando se les exige algo de intensidad a las placas.

Si comparamos en una tabla los resultados de los tiempos invertidos en la carga mediante ambos procesos en el caso de 100mA:

	Tiempo de carga mediante USB		Tiempo de carga mediante Placa Solar	
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
500mAh	270	20	270	20
600mAh con protección	150	20	160	20
600mAh sin protección	390	20	400	20

Tabla 12 - Tiempo invertido en cada fase para cada batería según sea USB o Placa Solar a 100mA

Podemos apreciar que para intensidad pequeña, la placa nos proporciona una entrada válida, y la carga se realiza en aproximadamente el mismo tiempo que con entrada USB, las pequeñas diferencias producidas se deben a que, al descargarse las baterías de manera manual, no siempre se comienza la carga con exactamente el mismo valor de tensión en las baterías.

8.3. Trabajo futuro

La mayor parte de los desarrollos realizados en energía solar hasta ahora, eran para obtener potencias instantáneas relativamente elevadas. De esa forma, los consumos de los sistemas de monitorización, conversión DC-DC, etc., no eran importantes.

Ahora bien, cuando se está hablando de necesidades más pequeñas (es decir, cargar un móvil, un sensor remoto inalámbrico que funciona de forma intermitente, una cerradura de la puerta de un hotel, un dispositivo de control industrial...) se tienen requerimientos de energía/potencia más bajos y los sistemas de control existentes son muy ineficientes: consumen casi tanto como necesitan; es por eso por lo que hemos optado por conectar directamente la placa solar al circuito sin usar un MPPT.

En los últimos años ha surgido una tendencia llamada: harvesting (y en particular el nano-harvesting), donde se investiga cómo captar niveles de energía más bajos, por ejemplo, con captadores solares de pequeño tamaño.

Si nos adentramos un poco en este tema, vemos que el mayor problema del uso de placas solares, es la baja intensidad que proporciona, y los sistemas más comunes, demandan mayor cantidad.

El esquema de un sistema genérico es el siguiente:

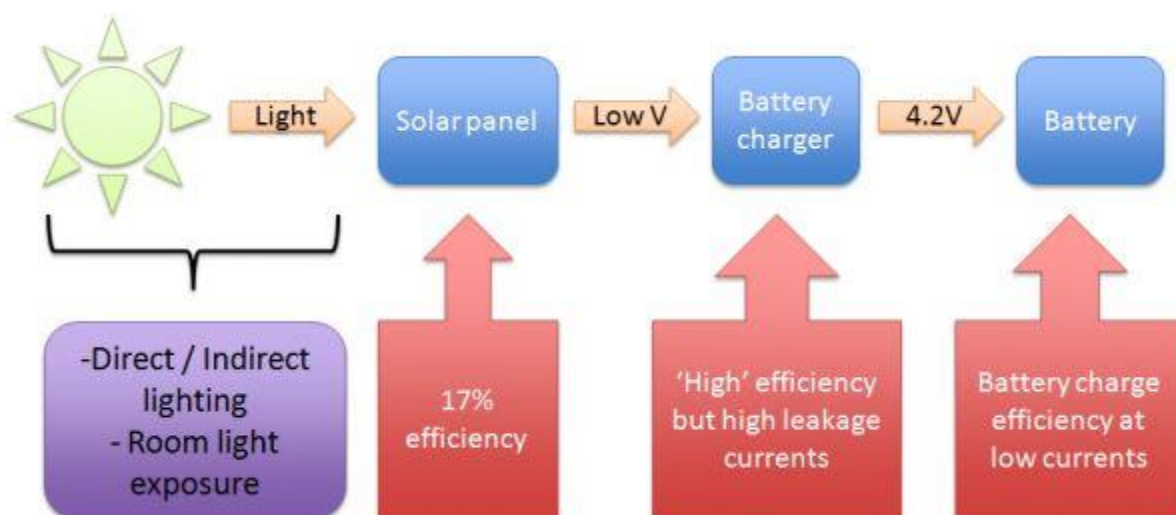


Figura 80 - Sistema de captación solar genérico [39]

Si comenzamos analizando el sistema por el panel solar, vemos que la producción de energía dependerá de la inclinación, la cantidad de luz directa del sol que le incide, o la orientación entre otros factores, produciéndose variaciones de hasta el 20 o 30% añadiéndole otros factores comentados en la introducción sobre los paneles. [26] Si observamos la gráfica de intensidad frente a tensión de nuestro panel solar que nos proporciona el fabricante, vemos que depende mucho del nivel de radiación que incide sobre él:

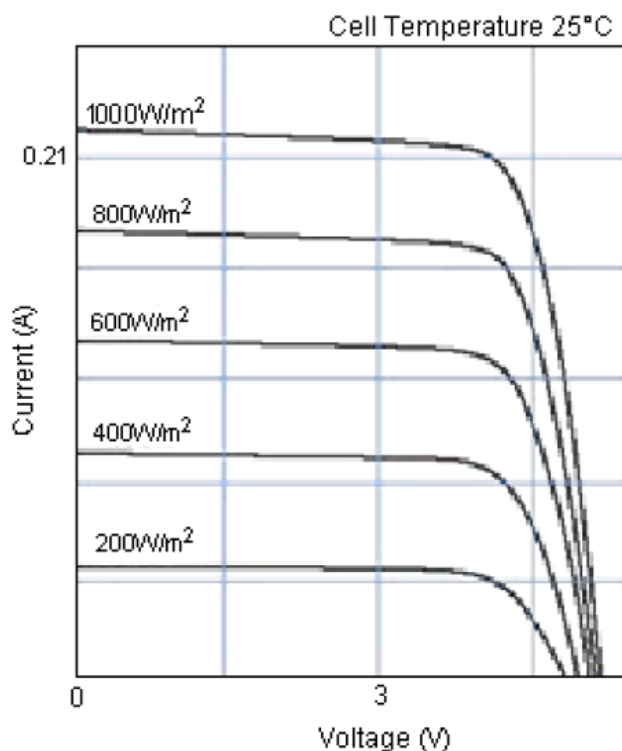


Figura 81 - Característica corriente-tensión de nuestro panel solar en función del nivel de radiación

Si seguimos por el cargador, aparte de que como potencia de entrada posee la de la placa solar, su eficiencia dependerá mucho con la corriente de salida.

Además, la captación de energía solar requiere la implementación del sistema al aire libre, la temperatura de funcionamiento de las baterías puede variar, dando lugar a cambios en sus características. Por ejemplo, la tasa de auto-descarga de la batería aproximadamente se duplica con cada aumento de $10^{\circ}C$ sobre temperatura ambiente. Sabemos también que la cantidad de corriente generada por el panel solar está limitada, problema principal en nuestra carga a 500mA; al contrario de los dispositivos que se recargan usando cargadores de pared, que proporcionan un suministro ilimitado de corriente de carga. [27]

Por tanto, el diseño de un módulo de captación de energía solar es complejo al intervenir muchos factores, como las características de las células solares, la química y la capacidad de las baterías usadas, los requisitos de suministro de energía y las características de administración de energía del sistema, el comportamiento de la aplicación, etc. Por tanto, esto es esencial para comprender a fondo y aprovechar estos factores con el fin de maximizar la eficiencia energética de un módulo de captación solar correctamente.

La consideración más importante a la hora de diseñar estos circuitos es maximizar la eficiencia, para lo que se deberá asegurar operar cerca del MPP, fijando la tensión de salida del panel. Sin embargo, el punto de máxima potencia cambia con la hora del día; se podría usar un MPPT, como hemos comentado antes, aunque los disponibles en el mercado consumen gran cantidad de energía, impidiendo su uso a baja potencia.

Aunque hay ICs cargadores de baterías diseñados para funcionar desde altas corrientes, hasta los pocos mA que produce un panel solar, actualmente son muy ineficientes para valores bajos de corriente, aunque se encuentran en continuo desarrollo, obteniéndose cada vez IC más eficaces.

Por lo tanto, aunque lo primero sea la eficiencia y obtener cada mW proporcionado por el panel, hay que hacer los diseños tan específicos como se pueda, no tiene sentido un sistema de captación que funcione con diversos paneles y cargue distintas baterías, se ganará una solución más general pero un peor rendimiento.

Una nueva tendencia, es la de proporcionar al IC de poder de lectura de la potencia que proporciona el panel a cada instante, y la posibilidad de hacer modelos de predicción. Esta información puede ser usada por el sistema, para de manera inteligente, programar la ejecución de sus tareas.

REFERENCIAS

- [1] «Wikipedia,» [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery#Working_principle.
- [2] «Multicopters,» [En línea]. Available: <http://www.multicopters.es/foro/vbulletin/showthread.php?5874-Conoce-las-bater%EDas-de-Li-Ion-y-LiPo-como-funcionan-consejos-y-riegos>.
- [3] «Wikipedia,» [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery#Design_origin_and_terminology.
- [4] «Hooked on RC airplanes,» [En línea]. Available: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/what-is-a-lipo-battery.html>.
- [5] «HeliFreak,» [En línea]. Available: <http://www.helifreak.com/showthread.php?t=264056>.
- [6] «Coches RC,» [En línea]. Available: <http://www.cochesrc.com/conceptos-basicos-baterias-lipo-tension-capacidad-descarga-y-conexion-de-elementos-a2627.html>.
- [7] «Hooked on RC airplanes,» [En línea]. Available: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/lipo-battery-safety.html>.
- [8] «Turbo Hobby,» [En línea]. Available: <http://blogturbohobby.blogspot.com.es/2013/05/bateriaslipo.html>.
- [9] «TAP 70,» [En línea]. Available: <http://www.flytap.com/USA/es/PlanearYReservar/PrepararElViaje/Equipaje/TransporteDePilas>.
- [10] «Hooked RC,» [En línea]. Available: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/what-is-a-lipo-battery.html>.
- [11] «Hooked,» [En línea]. Available: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/lipo-battery-charging.html>.
- [12] «Baterías de Litio,» [En línea]. Available: <http://bateriasdelitio.net/?p=54>.
- [13] J. Chávez, Práctica 5. Diseño de regulador de tensión lineal. Tecnología Electrónica. Grado Teleco ESI, Sevilla, 2014.

- [14] J. Chavez, Tema 3. Fuente de alimentación. Tecnología Electrónica. Grado Teleco ESI, Sevilla, 2014.
- [15] «Filtro por condensador,» [En línea]. Available: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3079/html/44_filtro_por_condensador.html.
- [16] «Paneles Soalres,» [En línea]. Available: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>.
- [17] «Ojo Curioso,» [En línea]. Available: <http://curiosidades.batanga.com/2011/03/03/como-funciona-un-panel-solar>.
- [18] «Scielo,» [En línea]. Available: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212011000300005&script=sci_arttext.
- [19] «Solar Instruments,» [En línea]. Available: http://www.solar-instruments.es/index_archivos/Page5293.htm.
- [20] «Wikipedia - Panel Fotovoltaico,» [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico.
- [21] «Electropaedia,» [En línea]. Available: http://www.mpoweruk.com/solar_power.htm.
- [22] «Electronics Tutorials,» [En línea]. Available: <http://www.electronics-tutorials.ws/diode/bypass-diodes.html>.
- [23] «EV Kit - Maxim Integrated,» [En línea]. Available: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX8606EVKIT.pdf>.
- [24] M. d. p. d. t. e. G. T. ESI, «Manual de fabricación de PCBs,» Sevilla, 2013.
- [25] F. Palomo Pinto, «Tema 3. instrumentación básica de medida electrónica,» de *Apuntes de la Asignatura Instrumentación Electrónica. 4º Grado Teleco ESI*, Sevilla, 2014.
- [26] «Optimum Tilt of Solar Panels,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.solarpaneltilt.com/>.
- [27] «Design Considerations for Solar Energy Harvesting,» [En línea]. Available: http://research.microsoft.com/pubs/73680/kansal_spots05.pdf. [Último acceso: 2015].
- [28] «Run Rider RC,» [En línea]. Available: <http://rc.runryder.com/helicopter/t438903p1/>.
- [29] «Cargador automatico,» [En línea]. Available: http://1.bp.blogspot.com/-FH2fCXUO5i4/VDSIlg3EeczI/AAAAAAAAAAeY/Y_uh_mKMXr4/s1600/.
- [30] «Low Voltage Warning Devices,» [En línea]. Available: <http://homepages.paradise.net.nz/bhabbot/lvw.html>.
- [31] «CopaRoman,» [En línea]. Available: <http://coparoman.blogspot.com.es/2014/04/rectificador-de-onda-completa.html>.
- [32] «Teknosolar,» [En línea]. Available: <http://www.teknosolar.com/blog/interconexion-de-paneles-solares/>.

- [33] «Electronic Lab,» [En línea]. Available: <http://www.electronics-lab.com/blog/?p=25833>.
- [34] «Enersac,» [En línea]. Available: <http://www.enersac.com/energia-solar-faq-cual-es-la-funcion-de-los-diodos-en-una-instalacion-fotovoltaica.php>.
- [35] «Wikipedia - Termistor,» [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Termistor>.
- [36] «Wikipedia - Ceramic Capacitor,» [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic_capacitor.
- [37] «Wafer-Level Packaging (WLP) and its Applications,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1891>.
- [38] «Battery University - Charging lithium ion batteries,» [En línea]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries. [Último acceso: Mayo 2015].
- [39] «Limpkin,» 2015. [En línea]. Available: [http://www.limpkin.fr/index.php?post/2011/12/07/Indoor-solar-energy-harvesting%3A-a-platform-to-\(finally\)-get-some-numbers](http://www.limpkin.fr/index.php?post/2011/12/07/Indoor-solar-energy-harvesting%3A-a-platform-to-(finally)-get-some-numbers).

GLOSARIO

LiPo	Lithium Polymer battery
Li-Ion	Lithium-Ion battery
PCB	Printed Circuit Board
SPE	Solid Polymer Electrolyte
NiCd	Níquel Cadmio
NiMH	Níquel-Metal Hidruro
DOD	Depth of Discharge
SoC	State of Charge
LED	Light Emitting Diode
USB	Universal Serial Bus
OC/CA	Open Circuit
SC/CC	Short Circuit
MPP	Maximun Power Point
BMS	Battery Management System
PCM	Protection Circuit Module
FAA	Federal Aviation Administration
PuTTY	Port unique Terminal Type
TDFN	Thin Dual Flat No-lead
IC	Integrated Circuit
NTC	Negative temperature coefficient
BOM	Bill Of Materials (Lista de Materiales)
WLP	Wafer-Level packaging
STM	Surface-Mount technology
I2C	Inter-Integrated Circuit
SMBus	System Management Bus

ANEXOS

1. Código Matlab

```

function grafica(fichero)
clear all
close all
pf=fopen(fichero,'r');      % Abrimos el fichero en modo lectura
if pf==-1
    fprintf('\n\tERROR: No se encuentra el fichero indicado.\n\n')
else
    linea1=fgetl(pf);        % Descartamos la primera línea de cabecera del fichero
    linea2=fgetl(pf);        % Descartamos segunda línea en blanco

    fprintf('\n\tLeyendo fichero...\n')

    s=[];                    % Vamos leyendo el fichero línea a línea
    linea = fgetl(pf);
    while ischar(linea)
        s=[s;linea];
        linea = fgetl(pf);
    end

    [fil,col]=size(s);
    ASCII=48*ones(fil,col);  % Valor en ASCII del 0 en decimal
    s=s*1-ASCII;

                                % Instante de tiempo inicial del fichero
    inicio=(s(1,2)*10+s(1,3))*3600+(s(1,5)*10+s(1,6))*60+(s(1,8)*10+s(1,9));
    fprintf('\n\tNormalizando valores...\n')

    tiempo=zeros(1,fil);
    for i=1:fil
        tiempo(i)=(((s(i,2)*10+s(i,3))*3600+(s(i,5)*10+s(i,6))*60+(s(i,8)*10+s(i,9)))-inicio)/60;
    end

    V=zeros(1,fil);
    for i=1:fil
        V(i)=(s(i,21)*1000+s(i,22)*100+s(i,23)*10+s(i,24))*5/4095;
    end
end

```

```

C=zeros(1,fil);
for i=1:fil

    % ////////////////////////////////// Cuando usamos el pin IMON de la placa

    %Para carga a 500mA, ya que la salida será aproximadamente del rango [150-2600]
    C(i)=(s(i,26)*1000+s(i,27)*100+s(i,28)*10+s(i,29))*(3.3/4095)*(8/33)*1000;

    %Para carga a 100mA, ya que la salida será aproximadamente del rango [150-550]
    C(i)=(s(i,26)*100+s(i,27)*10+s(i,28))*(3.3/4095)*(8/33)*1000;

    % (3.3/4095) para pasar del valor que proporciona el ADC a valores de tensión
    % (8000/R_SET)=8000/33000 De la fórmula del datasheet
    % 1000 para pasar a mA

    % ////////////////////////////////// Cuando usamos el sensor de corriente

    C(i)=((s(i,25)*1000+s(i,27)*100+s(i,28)*10+s(i,29))*(3.3/4096)-2.31)*(1/0.185);
    % (3.3/4096) para pasar del valor que proporciona el ADC a valores de tensión
    % 2.31 es el valor que proporciona el sensor para 0A, rango [0-5V]
    % 1/0.185 Sensibilidad de 185mV/A para este modelo
    % *1000 para pasarlo a mA

end

% Calculamos la energía y la capacidad suministrada

for i=1:fil
    E(i)=V(i)*C(i)/1000;
    E=[E;E(i)];
end

energ=sum(E)
cap=energ/3,7

```



```
% Dibujamos la gráfica con los valores obtenidos
fprintf('\n\tRepresentando...\n')

%//////////////////// Para las gráficas comunes

[Ax,p1,p2] = plotyy (tiempo,V,tiempo,C);

set(Ax(1),'YLim',[0 5])
set(Ax(1),'YTick',[0:0.5:5])
set(Ax(2),'YLim',[0 600])
set(Ax(2),'YTick',[0:100:600])

title('Curva de carga')
ylabel(Ax(1),'Tensión [V]')
ylabel(Ax(2),'Intensidad [mA]')
xlabel('Tiempo [min]')
grid on;

%//////////////////// Para las gráficas de las placas solares

subplot(2,2,1)
plot(tiempo, V)
xlabel('Tiempo [min]')
ylabel('Tensión [V]')
axis([0 220 0 5])
grid on;

subplot(2,2,2)
plot(tiempo,C,'g')
xlabel('Tiempo [min]')
ylabel('Corriente [mA]')
axis([0 220 0 600])
grid on;

subplot(2,2,3)
W=V.*C/1000;
plot(tiempo, W,'r')
```

```
xlabel('Tiempo [min]')
ylabel('Potencia [W]')
axis([0 220 0 3])
grid on;
Vavg=mean(V);
Cavg=mean(C)/1000;
Wavg=mean(W);
subplot(2,2,4)
plot(tiempo, Vavg, 'b', tiempo, Cavg, 'g', tiempo, Wavg, 'r')
xlabel('Tiempo [min]')
ylabel('Valores Medios')
axis([0 220 0 5])
grid on;

fclose(pf);
end
end
```

2. Código del Microcontrolador

```
#include "stm32f0xx.h"
#include "app_init.h"
#include "led.h"
#include "gpio.h"
#include "uart.h"
#include "timer.h"
#include "spi.h"
#include "delay.h"
#include "print.h"
#include "config.h"
#include "system.h"
#include "rcc.h"
#include "calendar.h"
#include "mlx90614.h"
#include "analogMeasure.h"

mlx90614_result mlxTemp;
analog_result conv;           // Variable para la medida analógica
rtc_calendar cal;           // Variable para mostrar la fecha del calendario

int main (void)
{
    SystemCoreClockUpdate();

    RCC_CLOCK_HSI8();       //Initialize 8MHz internal clock
    RCC_CLOCK_LSE32K();     //Initialize 32KHz external clock

    cal.YEAR = 0x15;        // Valores de inicio para el calendario
    cal.MONTH = 0x03;       // Siempre como 0x
    cal.DAY = 0x27;

    calendar_set(&cal);     // Aplicamos los valores antes configurados

    app_init();             // Iniciamos
    led_init();
    calendar_init();
    mlx90614_stopPWM();     // Mandatory
    mlx90614_init();
```

```

mlx90614_lowPower();
mlx90614_read(&mlxTemp);

while(1){                                     // Repetimos el código cíclicamente
led_toggle(4);
delay_sec(3);
read_analog_0_1(&conv);                       // Lectura analógica, tanto del CH0 como del CH1
print_date();

print_BCD(conv.CH1,0);                         // Imprime el valor del CH1 analógico, 0 para no imprimir decimales

                                                // Cadena a imprimir con la conversión de cast,
                                                // el número de elementos de la cadena+1 y la bandera para indicarle el
                                                // tipo de codificación en el que nos lo imprime

print((uint8_t *)" ", 1,0);
print_BCD(conv.CH0,0);
print((uint8_t *)"\n\r", 2,0);

                                                // Para control del nivel de carga mediante los LEDs de la placa

if (conv.CH1 > 3500)
    led_on(3);
else led_off(3);

if (conv.CH1 < 2500)
    led_on(3);
else led_off(3);

}
}

```

3. Datasheet MAX8606

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

General Description

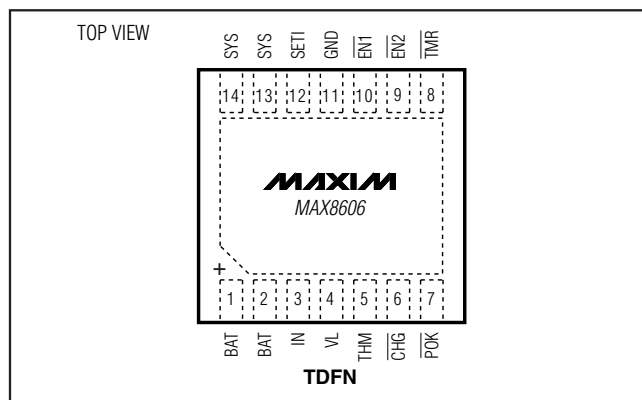
The MAX8606 complete 1-cell Li+ battery charge-management IC operates from either a USB port or AC adapter. It integrates a battery disconnect switch, current-sense circuit, PMOS pass element, and thermal-regulation circuitry, while eliminating the external reverse-blocking Schottky diode, to create a simple and small charging solution. The charging sequence initiates from power-OK indication, through prequalification, fast-charge, top-off charge, and finally charging-complete indication for single-cell Li+ batteries. Charging is controlled using constant current, constant voltage, or constant die-temperature (CCCCT_J) regulation for safe operation in handhelds.

Two logic inputs ($\overline{\text{EN1}}$ and $\overline{\text{EN2}}$) select suspend mode, 100mA, 500mA, or $\leq 1\text{A}$ input current limits to suit USB requirements. Proprietary thermal-regulation circuitry limits the die temperature to $+100^\circ\text{C}$ to prevent excessive heat on the system PC board. Additional safety features include an NTC thermistor input (THM) and internal timers to protect the battery. A 3.5V to 4.2V SYS output, in conjunction with the low- $R_{\text{DS(on)}}$ battery switch, powers the system even when the battery is deeply discharged or not installed. The IC also offers a +3.3V/500 μA output (VL), a charging status flag (CHG), and an input-supply detection flag (POK). The MAX8606 operates from a +4.25V to +5.5V supply and includes undervoltage lockout below +3.4V and over-voltage protection up to +14V.

Applications

Cellular Phones, Smartphones, PDAs
Digital Cameras, MP3 Players
USB Appliances, Charging Cradles and Docks

Pin Configuration



Features

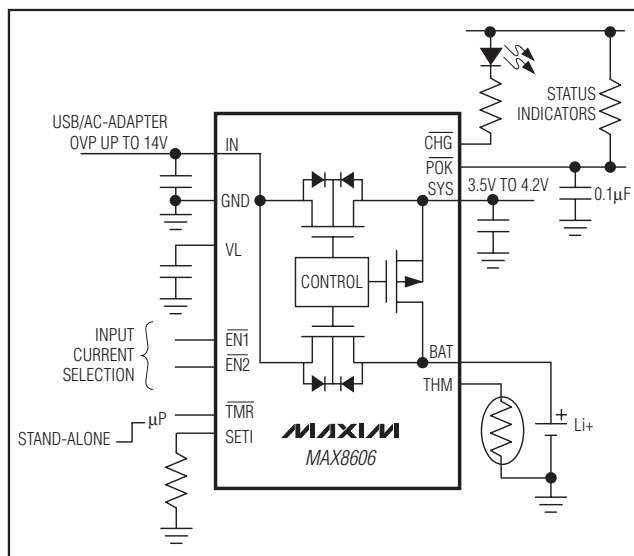
- ◆ Small 3mm x 3mm Thermally Enhanced TDFN Package (0.8mm max height)
- ◆ USB-Compliant Suspend Mode (20 μA)
- ◆ Selectable 100mA, 500mA, and Up to 1A Input Current Limits
- ◆ USB or AC Adapter Input
- ◆ +6V to +14V Input Overvoltage Protection
- ◆ Input UVLO Below +4V Rising (3.5V Falling)
- ◆ Automatic Current Sharing Between Battery Charging and System
- ◆ Die Temperature Regulation ($+100^\circ\text{C}$)
- ◆ Prequal, Fast-Charge, and Top-Off Timers
- ◆ Low Dropout Voltage, 250mV at 0.5A
- ◆ NTC Thermistor Input
- ◆ Charge Status and Input-Supply Detection Flags

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
MAX8606ETD+	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	14 TDFN 3mm x 3mm (T1433-1)	AAF

+Denotes lead-free/RoHS-compliant package.

Typical Operating Circuit



USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

IN to GND	-0.3V to +16V
BAT, SYS, $\overline{EN1}$, $\overline{EN2}$, POK, CHG, TMR to GND	-0.3V to +6V
VL, SET1, THM to GND	-0.3V to +4V
SYS to BAT	-0.3V to +6V
VL to IN	-16V to +0.3V
IN to BAT Current	1.0A _{RMS}
IN to SYS Current	1.0A _{RMS}
BAT to SYS Current	1.0A _{RMS}
BAT Short-Circuit Duration	Continuous

Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$)	
14-Pin 3mm x 3mm TDFN (derate 24.4mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$)	1951.2mW
Operating Temperature Range	-40 $^\circ\text{C}$ to +85 $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	-40 $^\circ\text{C}$ to +150 $^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	-65 $^\circ\text{C}$ to +150 $^\circ\text{C}$
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300 $^\circ\text{C}$

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{IN} = 5.0\text{V}$, $V_{BAT} = 3.3\text{V}$, $\overline{EN1} = \overline{EN2} = \text{GND}$, $R_{SET1} = 23.58\text{k}\Omega$, $C_{VL} = 0.1\mu\text{F}$, $C_{SYS} = 4.7\mu\text{F}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ\text{C}$.) (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
IN						
IN Voltage Range		0		14	V	
IN Operating Voltage Range	(Note 2)	4.25		5.50	V	
IN Undervoltage Threshold	V_{IN} rising, 500mV hysteresis (typ)	3.9	4.0	4.1	V	
IN Overvoltage Threshold	V_{IN} rising, 100mV hysteresis (typ)	5.6	5.8	6.0	V	
IN Supply Current	Charging, $I_{BAT} = I_{SYS} = 0\text{mA}$		1.2	3.0	mA	
	Suspend, $\overline{EN1} = \overline{EN2} = \text{high}$, $I_{VL} = 0\text{mA}$		20	40	μA	
IN to BAT Switch Leakage	$V_{IN} = 14\text{V}$, $BAT = \text{GND}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	0.1	10	μA	
		$T_A = +85^\circ\text{C}$	0.5			
SYS						
SYS Regulated Voltage	$I_{SYS} = 0\text{mA}$, $V_{BAT} = 3.3\text{V}$	3.4	3.5	3.6	V	
SYS Current Limit	$V_{SYS} = 3.3\text{V}$	$\overline{EN1} = \text{low}$, $\overline{EN2} = \text{low}$	90	95	100	mA
		$\overline{EN1} = \text{low}$, $\overline{EN2} = \text{high}$	450	475	500	
		$\overline{EN1} = \text{high}$, $\overline{EN2} = \text{low}$	675	712	750	
SYS Dropout Voltage ($V_{IN} - V_{BAT}$)	$I_{SYS} = 400\text{mA}$, $V_{SYS} = 3.3\text{V}$, $\overline{EN1} = \text{low}$, $\overline{EN2} = \text{high}$		350	700	mV	
SYS Load Regulation	$I_{SYS} = 1\text{mA}$ to 675mA , $\overline{EN1} = \text{high}$, $\overline{EN2} = \text{low}$		10		mV	
BAT						
BAT Regulation Voltage	$I_{BAT} = 0\text{mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	4.18	4.20	4.22	V
		$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$	4.16	4.20	4.24	
Maximum Charging Current		1			A	
BAT Charging Current	$\overline{EN1} = \text{low}$, $\overline{EN2} = \text{low}$	$I_{SYS} = 0\text{mA}$	87	95	100	mA
		$I_{SYS} = 50\text{mA}$		45		
	$\overline{EN1} = \text{low}$, $\overline{EN2} = \text{high}$	$I_{SYS} = 0\text{mA}$	450	475	500	
		$I_{SYS} = 250\text{mA}$		225		
	$\overline{EN1} = \text{high}$, $\overline{EN2} = \text{low}$	$I_{SYS} = 0\text{mA}$	675	712	750	
	$I_{SYS} = 375\text{mA}$		337			

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

MAX8606

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{IN} = 5.0V$, $V_{BAT} = 3.3V$, $\overline{EN1} = \overline{EN2} = GND$, $R_{SET1} = 23.58k\Omega$, $C_{VL} = 0.1\mu F$, $C_{SYS} = 4.7\mu F$, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$.) (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS	
BAT Prequal Current	$V_{BAT} = 2.0V$	$\overline{EN1} = \text{low}, \overline{EN2} = \text{low}, I_{SYS} = 0mA$	87	95	100	mA	
		$\overline{EN1} = \text{low}, \overline{EN2} = \text{high}, I_{SYS} = 0$ to 350mA		95			
		$\overline{EN1} = \text{high}, \overline{EN2} = \text{low}, I_{SYS} = 0$ to 575mA		95			
Soft-Start Time			1.5			ms	
BAT Prequal Threshold	V_{BAT} rising, 150mV hysteresis (typ)		2.9	3.0	3.1	V	
BAT Dropout Voltage ($V_{IN} - V_{BAT}$)	$V_{BAT} = 4.1V$, $I_{BAT} = 400mA$			200	400	mV	
BAT Short-Circuit Current Limit	BAT = GND		70	95	120	mA	
BAT to SYS Switch R_{ON}	$V_{BAT} = 3.5V$, $V_{SYS} = 3.4V$, $V_{IN} = 0V$			50	100	mΩ	
BAT to SYS Switch Threshold	BAT rising, 160mV hysteresis (typ)		3.4	3.5	3.6	V	
Battery-Removal Threshold	BAT rising, 210mV hysteresis (typ)		4.5	4.75	5.0	V	
BAT Leakage Current	$V_{IN} = 0V$	$T_A = +25^\circ C$		0.1	10	μA	
		$T_A = +85^\circ C$		0.1			
	$V_{IN} = 2.4V$	$T_A = +25^\circ C$		0.1	10		
		$T_A = +85^\circ C$		0.1			
	$\overline{EN1} = \text{high}, \overline{EN2} = \text{high}$	$T_A = +25^\circ C$	-10	0.1	+10		
		$T_A = +85^\circ C$		0.1			
VL							
VL Output Voltage	$I_{VL} = 0$ to 500μA		3.1	3.3	3.5	V	
VL Shutdown Voltage	$V_{\overline{EN1}} = V_{\overline{EN2}} = 5V$			0		V	
THM							
THM Internal Pullup Resistance				10		kΩ	
THM Resistance Threshold, Hot	10% hysteresis		3.72	3.93	4.13	kΩ	
THM Resistance Threshold, Cold	10% hysteresis		26.6	28.3	30.0	kΩ	
THM Resistance Threshold, Disabled	70% hysteresis		274	305	336	Ω	
SETI							
SETI Servo Voltage	$\overline{EN1} = \text{low}, \overline{EN2} = \text{low}$			0.28		V	
	$\overline{EN1} = \text{low}, \overline{EN2} = \text{high}$			1.4			
	$\overline{EN1} = \text{high}, \overline{EN2} = \text{low}$			2.1			
SETI Resistance Range			17.68	23.58	35.36	kΩ	
POK							
POK Trip Threshold ($V_{IN} - V_{BAT}$)	$4.1V < V_{IN} < 5.6V$, $V_{BAT} = 4.1V$		V_{IN} rising	150	250	350	mV
			V_{IN} falling	5	55	125	
POK Voltage, Low	$I_{POK} = 5mA$			0.05	0.2	V	
POK Leakage Current, High	$V_{POK} = 6V$		$T_A = +25^\circ C$		0.01	1	μA
			$T_A = +85^\circ C$		0.01		

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{IN} = 5.0V$, $V_{BAT} = 3.3V$, $\overline{EN1} = \overline{EN2} = GND$, $R_{SET1} = 23.58k\Omega$, $C_{VL} = 0.1\mu F$, $C_{SYS} = 4.7\mu F$, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$.) (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CHG					
Full-Battery Detection Current Threshold	I_{BAT} falling	30	50	70	mA
\overline{CHG} Voltage, Low	$I_{\overline{CHG}} = 5mA$		0.05	0.02	V
\overline{CHG} Leakage Current, High	$V_{\overline{CHG}} = 6V$	$T_A = +25^\circ C$	0.01	1	μA
		$T_A = +85^\circ C$	0.01		
$\overline{EN1}$, $\overline{EN2}$, \overline{TMR}					
Logic Input Leakage Current	$V_{\overline{TMR}} = V_{\overline{EN1}} = V_{\overline{EN2}} = 0$ to 5.5V	$T_A = +25^\circ C$	0.01	1	μA
		$T_A = +85^\circ C$	0.01		
Logic Input Low Voltage				0.4	V
Logic Input High Voltage		1.6			V
THERMAL LIMIT					
Thermal-Regulation Threshold			+100		$^\circ C$
Thermal-Regulation Gain	T_J to I_{BAT} , $T_J > +100^\circ C$		-50		$mA/^\circ C$
TIMER					
Oscillator Accuracy		112	140	168	kHz
Overvoltage Turn-On Delay			800		ms
Prequal Fault Timer		24	30	36	min
Fast-Charge Fault Timer			480		min
Top-Off Timer			30		min
\overline{CHG} Blinking Rate	In fault state, 50% duty	1.68	2.10	2.52	Hz

Note 1: Specifications are 100% production tested at $T_A = +25^\circ C$. Limits over the operating temperature range are guaranteed by design and characterization.

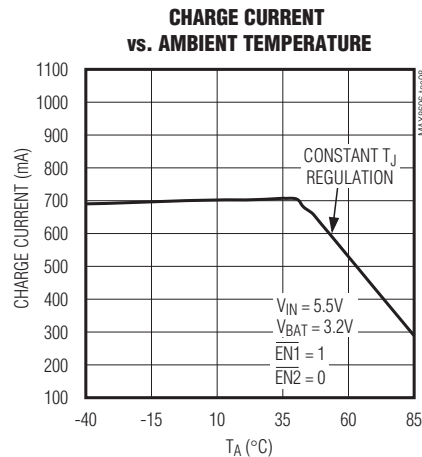
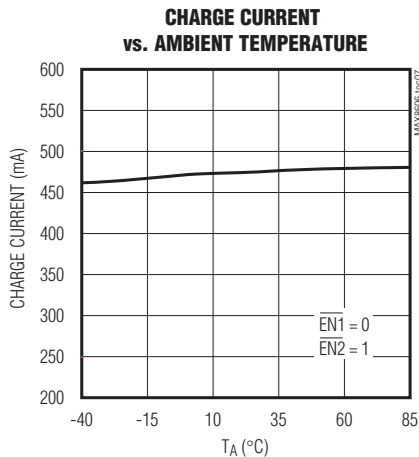
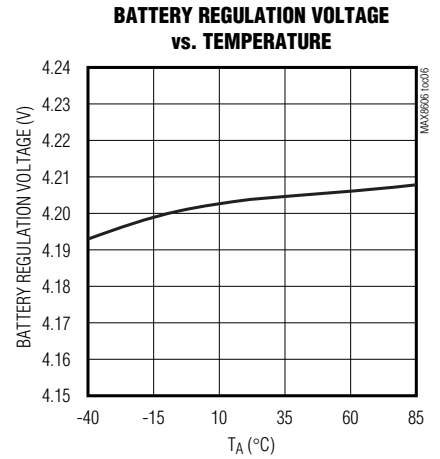
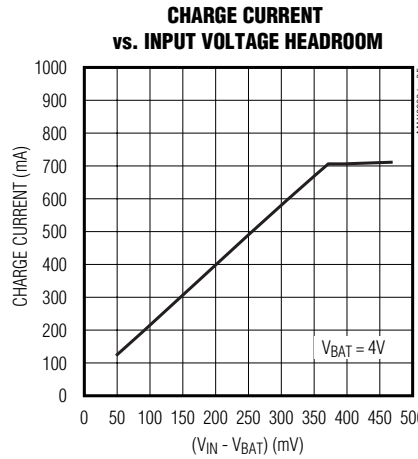
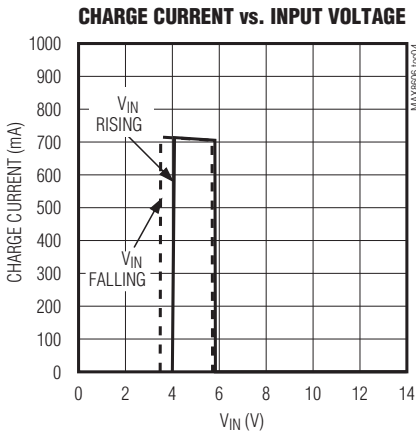
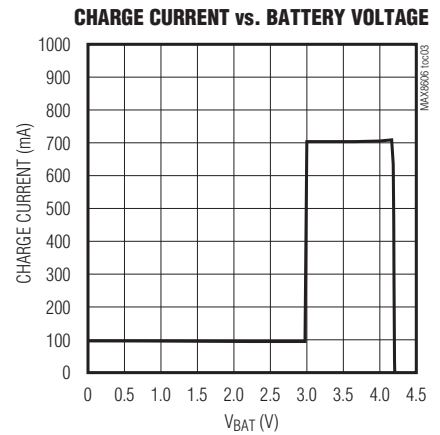
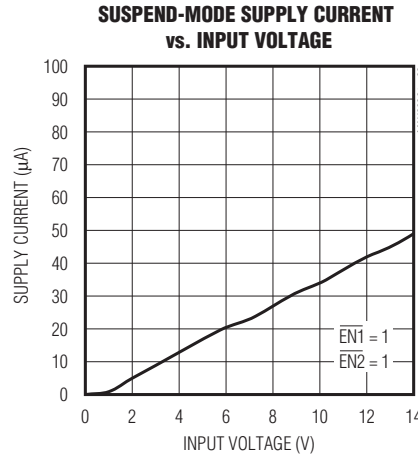
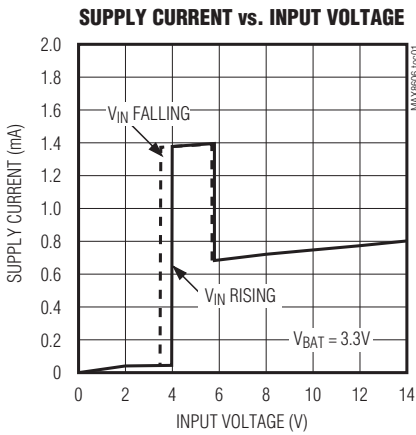
Note 2: Guaranteed by undervoltage and overvoltage threshold testing.

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

MAX8606

Typical Operating Characteristics

($V_{IN} = +5V$, $V_{BAT} = 3.6V$, $I_{SYS} = 0$, $\overline{EN1} = 1$, $\overline{EN2} = 0$, circuit of Figure 3, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)



USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1, 2	BAT	Battery Connection. The IC delivers charging current and monitors battery voltage using BAT. Connect both BAT outputs together externally. During suspend mode, BAT is internally connected to SYS.
3	IN	Supply Voltage Input. Connect IN to a 4.25V to 5.5V supply. Charging is suspended if V_{IN} exceeds 6V. Bypass IN to GND with a 4.7μF or larger ceramic capacitor.
4	VL	+3.3V Output Voltage and Logic Supply. VL is regulated to +3.3V and is capable of sourcing 500μA to provide power for external circuits. Bypass VL to GND with a 0.1μF or larger ceramic capacitor. VL is internally pulled to GND during suspend mode.
5	THM	Thermistor Input. Connect a 10kΩ NTC thermistor from THM to GND in close proximity to the battery to monitor the battery temperature. The IC suspends charging when the temperature is outside the hot and cold limits. Connect THM to GND to disable the thermistor monitoring function.
6	CHG	Charging Status Output. $\overline{\text{CHG}}$ is an open-drain output that goes low when the battery is charging. $\overline{\text{CHG}}$ goes high impedance when the charge current drops below 50mA (typ) and the battery voltage is 4.2V (typ). $\overline{\text{CHG}}$ is high impedance when the IC is in suspend mode.
7	POK	Power-OK Monitor. $\overline{\text{POK}}$ is an open-drain output that pulls low when a valid charging source is detected at IN.
8	TMR	Timer-Selection Input. Drive $\overline{\text{TMR}}$ high to enable the microprocessor mode where the charge times are determined by an external device. Drive $\overline{\text{TMR}}$ low to use the internal prequal, fast-charge, and top-off timers.
9	$\overline{\text{EN2}}$	Charge-Current Selection Input. Drive $\overline{\text{EN2}}$ high or low to select the charge current or to put the MAX8606 into suspend mode (see Table 1).
10	$\overline{\text{EN1}}$	Charge-Current Selection Input. Drive $\overline{\text{EN1}}$ high or low to select the charge current or to put the MAX8606 into suspend mode (see Table 1).
11	GND	Ground. Connect directly to exposed paddle under the IC.
12	SETI	Charge-Current Programming Input. Connect a resistor from SETI to GND to set the maximum charging current. R_{SETI} must be between 17.68kΩ and 35.36kΩ.
13, 14	SYS	System Supply Output. SYS delivers up to 1A _{RMS} to power an external system. Bypass SYS to GND with a 4.7μF or larger ceramic capacitor. SYS is connected to BAT through an internal 50mΩ switch when V_{BAT} exceeds 3.5V or when the MAX8606 is in suspend mode.
—	EP	Exposed Paddle. Connect to GND under the IC. Connect to a large ground plane to improve power dissipation.

Detailed Description

The MAX8606 charger uses current, voltage, and thermal control loops to charge and protect a single Li+ battery cell. It can start the system even when the battery is in deep saturation. The MAX8606 provides a SYS output that supplies the external system with a minimum 3.5V at 1A.

Two active-low enable inputs ($\overline{\text{EN1}}$ and $\overline{\text{EN2}}$) are supplied to set the SYS and charging current limits. During prequal and fast-charge modes, the $\overline{\text{CHG}}$ output status flag is pulled low. As the battery voltage approaches

4.2V, the charging current is reduced. When the charging current drops below 50mA and the battery voltage equals 4.2V, the $\overline{\text{CHG}}$ output goes high impedance, signaling a full battery. At any time during charging, if both $\overline{\text{EN1}}$ and $\overline{\text{EN2}}$ are driven high, the charger enters suspend mode, charging stops, and $\overline{\text{CHG}}$ goes high impedance.

The MAX8606 contains an internal timer to measure the prequal, fast-charge, and top-off charge time. If the battery voltage has not risen above 3V after 30 minutes or has not completed fast-charge in 8 hours, the charger goes into a fault state where the charging is

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

MAX8606

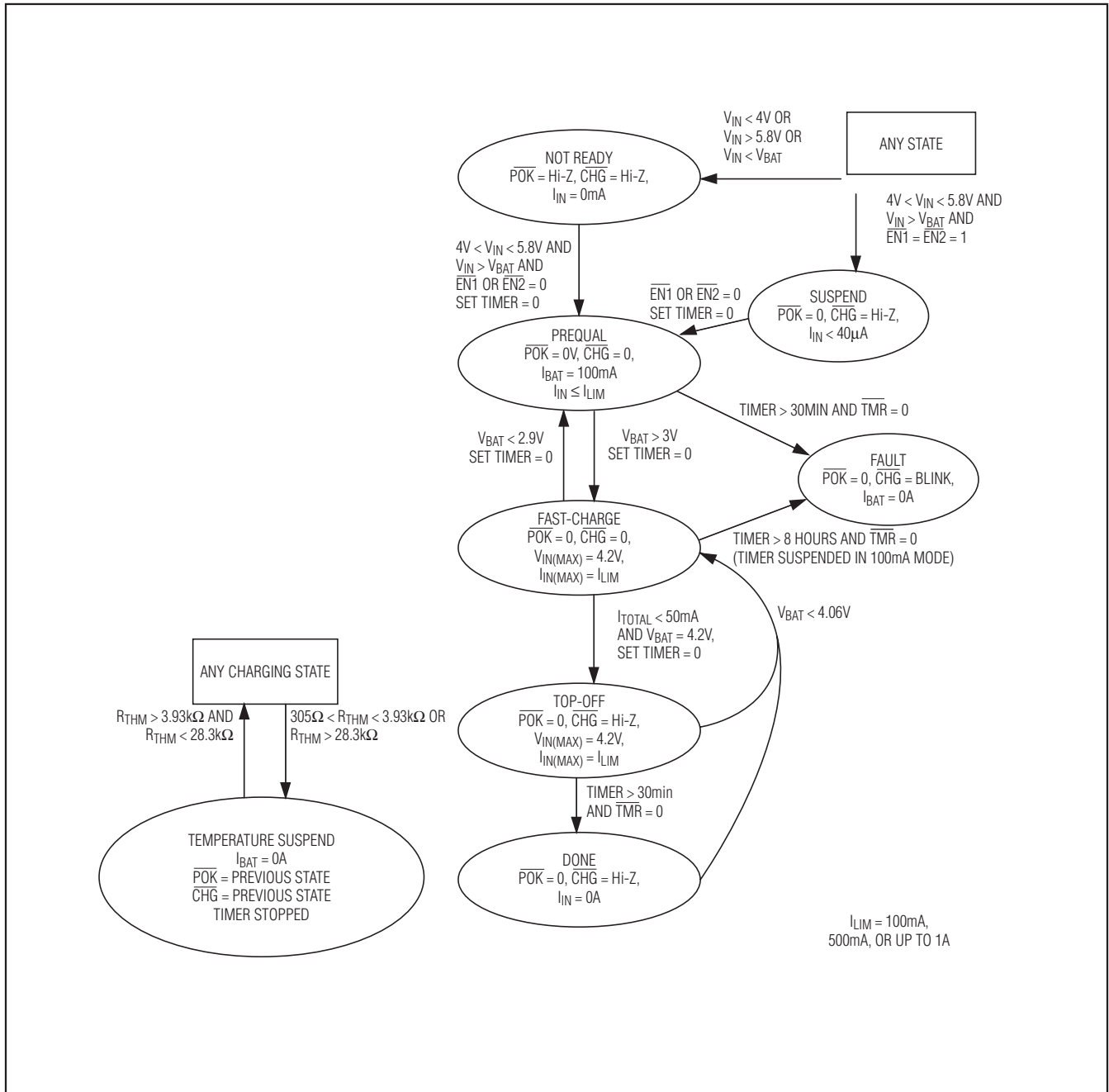


Figure 1. MAX8606 State Diagram

suspended and the \overline{CHG} flag turns on and off at 2Hz. Either the input power must be cycled or the suspend mode enabled to clear the fault.

$\overline{EN1}$ and $\overline{EN2}$ Inputs

$\overline{EN1}$ and $\overline{EN2}$ are logic inputs that enable the charger and select the charging current (see Table 1). Drive $\overline{EN1}$ and $\overline{EN2}$ high to place the IC in suspend mode.

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

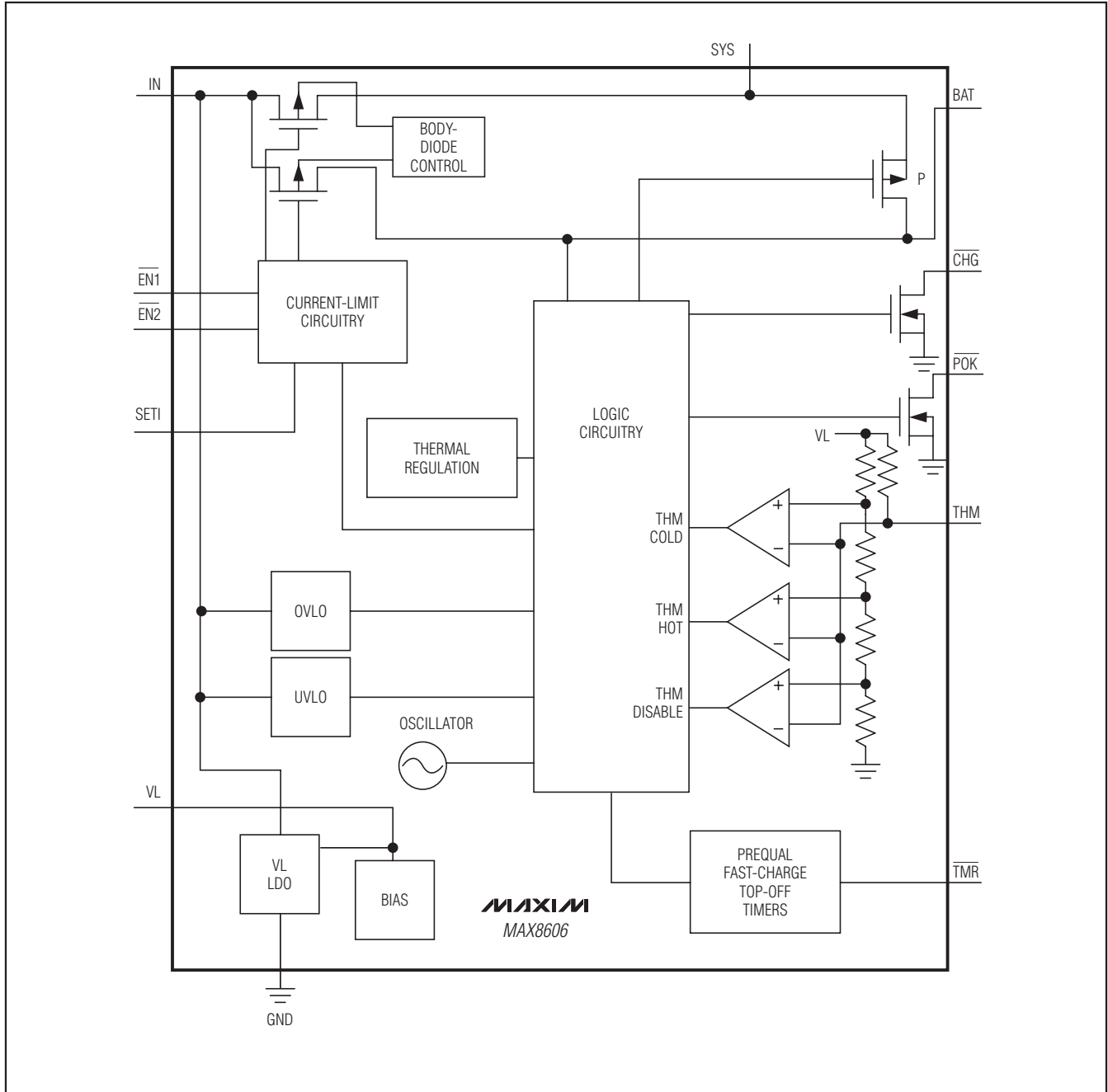


Figure 2. MAX8606 Block Diagram

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

MAX8606

VL Internal Voltage Regulator

The MAX8606 linear charger contains an internal linear regulator to supply the power for the IC. Bypass VL to GND with a 0.1μF ceramic capacitor. VL is regulated to 3.3V whenever the input voltage is above the battery voltage and can source up to 500μA for external loads.

CHG Charge-Indicator Output

CHG is an open-drain output that indicates charger status and can be used with an LED. CHG goes low during charging. CHG goes high impedance when V_{BAT} equals 4.2V and the charging current drops below 50mA. When the MAX8606 is used in conjunction with a microprocessor (μP), connect a pullup resistor between CHG and the logic I/O voltage to indicate charge status to the μP. CHG also indicates a timer fault. If the internal prequal or fast-charge timer expires without completing the charge cycle, charging is suspended and the CHG output “blinks” at 2.1Hz.

Soft-Start

To prevent input transients, the rate of change of the charge current is limited when the charger is turned on or changes its current compliance. It takes approximately 1ms for the charger to go from 0mA to the maximum fast-charge current.

TMR Input

The MAX8606 includes a 30-minute prequalification fault timer, an 8-hour fast-charge fault timer, and a 30-minute top-off timer to terminate the charging cycle. Drive TMR low to enable the internal timers. Drive TMR high to disable the internal timers and allow an external device to determine charge times.

THM Input

The MAX8606 monitors the battery temperature with an external NTC thermistor that is in close thermal contact with the battery. Select a thermistor resistance that is 10kΩ at +25°C and has a beta of 3500 Kelvins. The IC compares the resistance from THM to GND and suspends charging when it is greater than 28.3kΩ or less than 3.93kΩ, which translates to a battery temperature of 0°C or +50°C, respectively. Connect THM to GND to disable the temperature control function.

SYS Output

The MAX8606 contains a SYS output that delivers up to 1ARMS at 3.5V to 4.2V to power an external system. Bypass SYS to GND with a 4.7μF or larger ceramic capacitor. When V_{BAT} exceeds 3.5V or when the MAX8606 is in suspend mode, the MAX8606 internally connects SYS to BAT through a 50mΩ switch. When charging a battery, the load on SYS is serviced first and

Table 1. EN1 and EN2 Control

EN1	EN2	MODE
0	0	100mA
0	1	500mA
1	0	8000 × 2.1V / R _{SETI}
1	1	Suspend

the remaining available current goes to charge the battery. SYS is connected to BAT when V_{IN} is not valid.

POK

The MAX8606 contains an open-drain POK output that goes low when a valid input source is detected at IN. A valid input source is one whose voltage is between 4V and 5.8V and exceeds the battery voltage by 250mV. After a valid input has been established, charging is sustained with inputs as low as 3.5V as long as the input voltage remains above the battery voltage by at least 55mV. POK is high impedance otherwise.

Applications Information

Charge-Current Selection

For USB applications, the charging current is internally limited to 100mA or 500mA. For wall-cube applications requiring a different current requirement, set the charging current with an external resistor from SETI to GND (R_{SETI}). Calculate R_{SETI} as follows:

$$R_{SETI} = 8000 \times 2.1V / (I_{BAT} + I_{SYS})$$

where EN1 = high and EN2 = low.

The SETI input also enables the user to monitor the charging current. Under fast-charge operation, the SETI voltage regulates to 1.4V (EN1 low and EN2 high) or 2.1V (EN1 high and EN2 low). As the charging current decreases, V_{SETI} decreases. This is due to either the thermal regulation control or voltage regulation control (4.2V) of the MAX8606. V_{SETI} is calculated using the following equation:

$$V_{SETI} = (I_{BAT} + I_{SYS}) \times R_{SETI} / 8000$$

Thermal Regulation

The MAX8606 features a thermal limit that reduces the charge current when the die temperature exceeds +100°C. As the temperature increases, the IC lowers the charge current by 50mA/°C above +100°C.

Capacitor Selection

Connect a ceramic capacitor from SYS to GND as close to the IC as possible for proper stability. Use a 4.7μF X5R ceramic capacitor for most applications.

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

Connect a 4.7μF ceramic capacitor from IN to GND as close to the IC as possible. Use a larger input bypass capacitor to reduce supply noise.

Thermal Considerations

The MAX8606 is available in a thermally enhanced TDFN package with exposed paddle. Connect the exposed paddle to a large copper ground plane to provide a good thermal contact between the device and the circuit board. The exposed paddle transfers heat away from the device, allowing the MAX8606 to charge the battery with maximum current while minimizing the increase in die temperature.

DC Input Sources

The MAX8606 operates from well-regulated DC sources. The full-charging input voltage range is 4.25V to 5.8V. The device survives input voltages up to 14V without damage to the IC. If V_{IN} is greater than 5.8V (typ), the IC stops charging. An appropriate power supply must provide at least 4.25V when sourcing the desired peak charging current. It also must stay below 5.8V when unloaded.

Application Circuits

Stand-Alone Li+ Charger

The MAX8606 provides a complete Li+ charging solution. Figure 3 shows the MAX8606 as a stand-alone Li+ battery charger. The 23.58kΩ resistor connected to SET1 sets a charging current of 712mA (typ). The LED indicates when either prequal or fast-charging has begun. When the battery is charged the LED turns off.

USB Application with AC Adapter

The MAX8606 can be configured for USB applications with an optional AC-adaptor input (Figure 4). The p-channel MOSFET disconnects the USB port when the AC adapter is installed. Alternately, the USB port and AC adapter may be excluded from each other by mechanical means, such as using a single connector.

USB-Powered Li+ Charger

The universal serial bus (USB) provides a high-speed serial communication port, as well as power for the remote device. The MAX8606 can be configured to charge a battery at the highest current possible from the host port. Figure 5 shows the MAX8606 as a USB battery charger. To make the circuit compatible with either 100mA or 500mA USB ports, the system software begins at 100mA charging current. The microprocessor then enumerates with the host to determine its current capability. If the host port is capable, the charging current is increased to 475mA to avoid exceeding the 500mA USB specification.

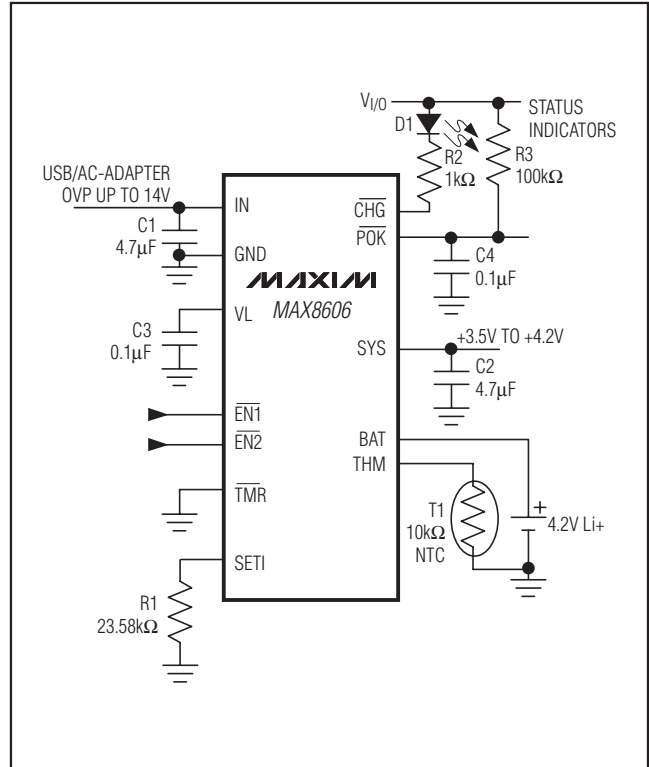


Figure 3. Stand-Alone Application

Layout and Bypassing

Place the input capacitor as close to the device as possible. Provide a large copper ground plane to allow the exposed paddle to sink heat away from the device. Connect the battery to BAT as close to the device as possible to provide accurate battery voltage sensing. Make all high-current traces short and wide to minimize voltage drops. A sample layout is available in the MAX8606 evaluation kit to help speed designs.

Chip Information

PROCESS: BiCMOS

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

MAX8606

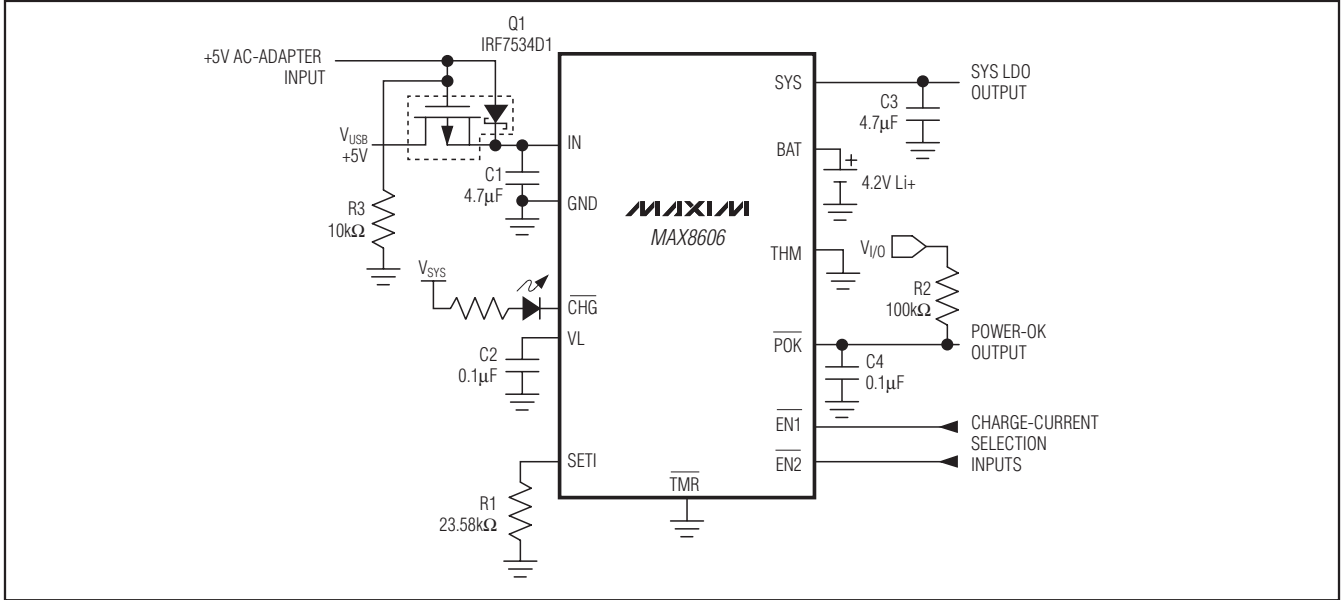


Figure 4. USB Application with AC Adapter

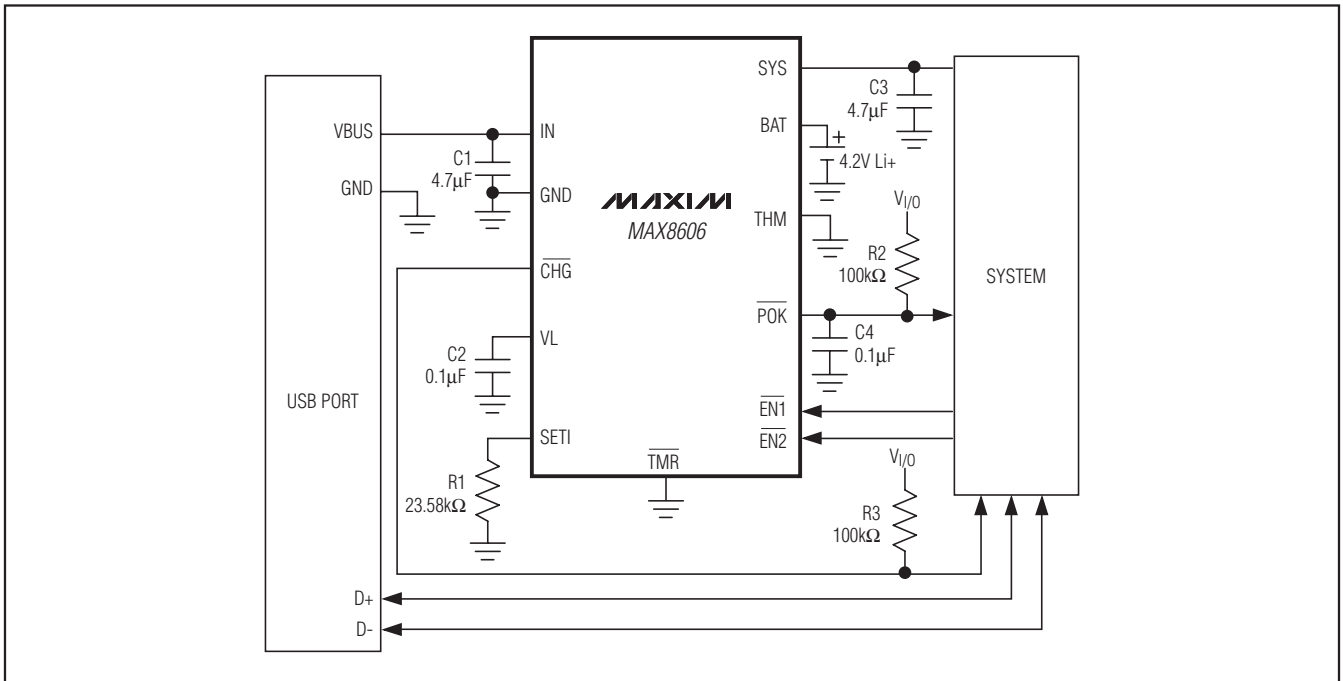


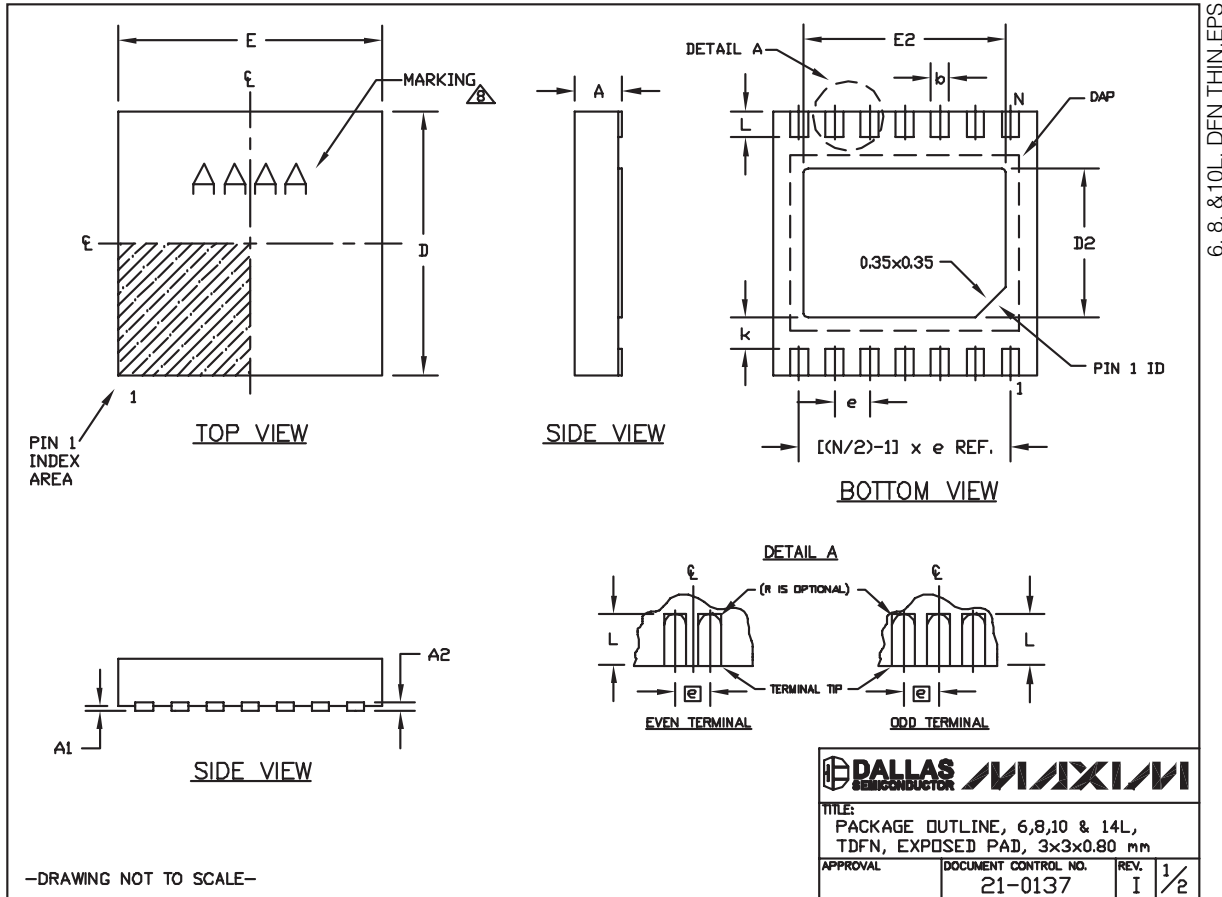
Figure 5. USB Charger Application

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

Package Information

For the latest package outline information and land patterns, go to www.maxim-ic.com/packages.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	DOCUMENT NO.
14 TDFN	T2444-4	21-0137



USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

Package Information (continued)


For the latest package outline information and land patterns, go to www.maxim-ic.com/packages.

MAX8606


COMMON DIMENSIONS		
SYMBOL	MIN.	MAX.
A	0.70	0.80
D	2.90	3.10
E	2.90	3.10
A1	0.00	0.05
L	0.20	0.40
k	0.25 MIN.	
A2	0.20 REF.	

PACKAGE VARIATIONS								
PKG. CODE	N	D2	E2	e	JEDEC SPEC	b	[(N/2)-1] x e	
T633-2	6	1.50±0.10	2.30±0.10	0.95 BSC	MO229 / WEEA	0.40±0.05	1.90 REF	
T833-2	8	1.50±0.10	2.30±0.10	0.65 BSC	MO229 / WEEC	0.30±0.05	1.95 REF	
T833-3	8	1.50±0.10	2.30±0.10	0.65 BSC	MO229 / WEEC	0.30±0.05	1.95 REF	
T1033-1	10	1.50±0.10	2.30±0.10	0.50 BSC	MO229 / WEED-3	0.25±0.05	2.00 REF	
T1033-2	10	1.50±0.10	2.30±0.10	0.50 BSC	MO229 / WEED-3	0.25±0.05	2.00 REF	
T1433-1	14	1.70±0.10	2.30±0.10	0.40 BSC	----	0.20±0.05	2.40 REF	
T1433-2	14	1.70±0.10	2.30±0.10	0.40 BSC	----	0.20±0.05	2.40 REF	

NOTES:

- ALL DIMENSIONS ARE IN mm. ANGLES IN DEGREES.
- COPLANARITY SHALL NOT EXCEED 0.08 mm.
- WARPAGE SHALL NOT EXCEED 0.10 mm.
- PACKAGE LENGTH/PACKAGE WIDTH ARE CONSIDERED AS SPECIAL CHARACTERISTIC(S).
- DRAWING CONFORMS TO JEDEC MO229, EXCEPT DIMENSIONS "D2" AND "E2", AND T1433-1 & T1433-2.
- "N" IS THE TOTAL NUMBER OF LEADS.
- NUMBER OF LEADS SHOWN ARE FOR REFERENCE ONLY.
-  MARKING IS FOR PACKAGE ORIENTATION REFERENCE ONLY.

—DRAWING NOT TO SCALE—

		
TITLE: PACKAGE OUTLINE, 6,8,10 & 14L, TDFN, EXPOSED PAD, 3x3x0.80 mm		
APPROVAL	DOCUMENT CONTROL NO.	REV.
	21-0137	I 2/2

USB/AC Adapter, Li+ Linear Battery Charger with Integrated 50mΩ Battery Switch in TDFN

Revision History

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
0	8/05	Initial release	—
1	12/08	Updated Continuous Power Dissipation and derating factor in <i>Absolute Maximum Ratings</i>	2

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

14 **Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600**

4. Datasheet ACS712 - Sensor de Corriente

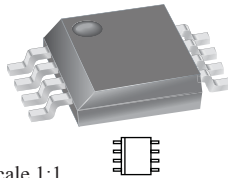
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

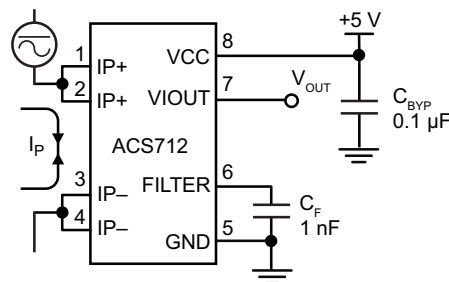
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

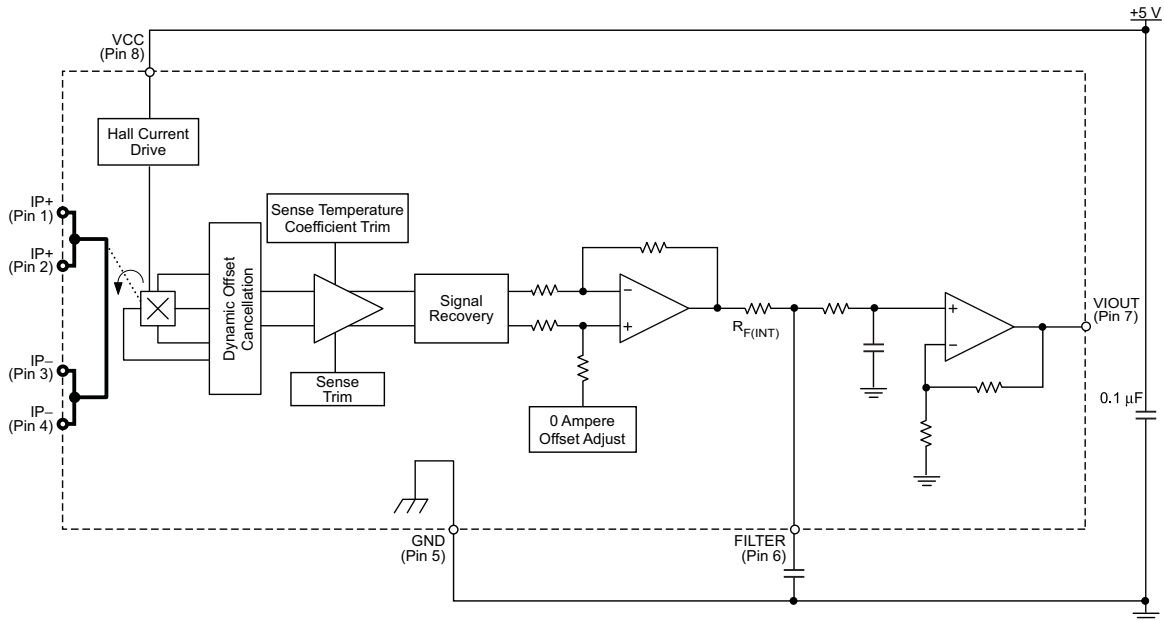
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFRI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

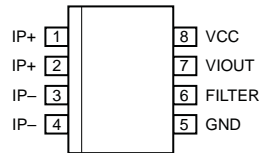
Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C}/\text{W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

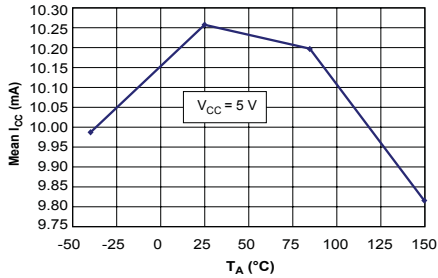
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.

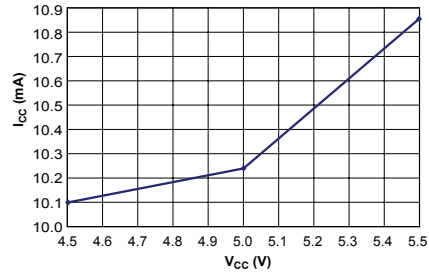
Characteristic Performance

$I_P = 5\text{ A}$, unless otherwise specified

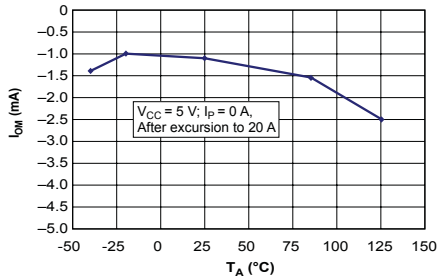
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



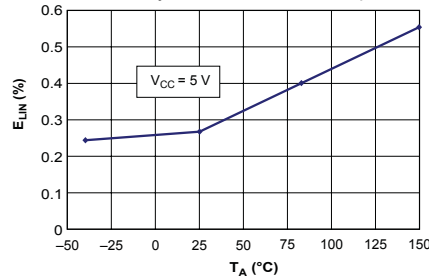
Supply Current versus Supply Voltage



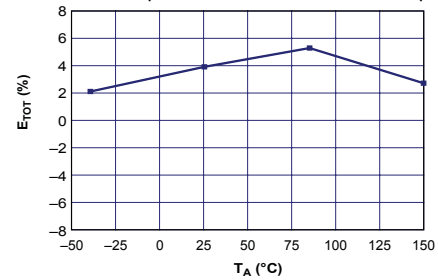
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



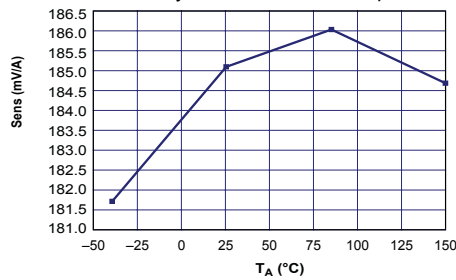
Nonlinearity versus Ambient Temperature



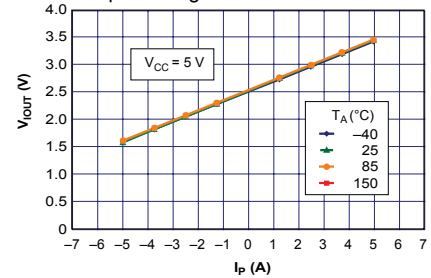
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



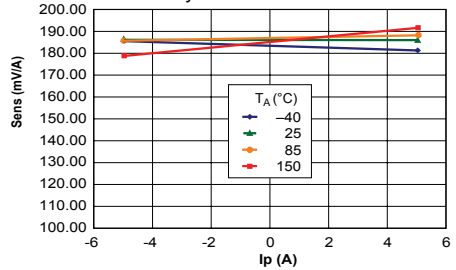
Sensitivity versus Ambient Temperature



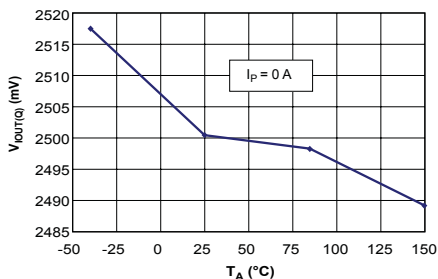
Output Voltage versus Sensed Current



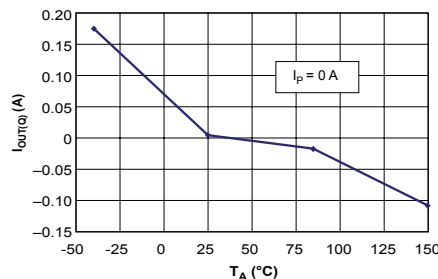
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



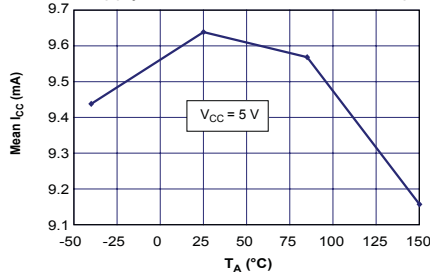
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



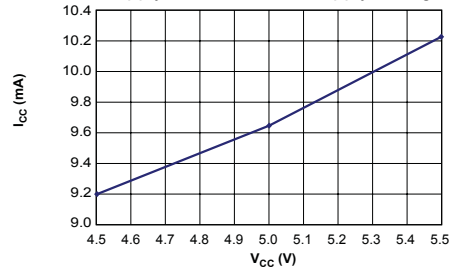
Characteristic Performance

$I_P = 20\text{ A}$, unless otherwise specified

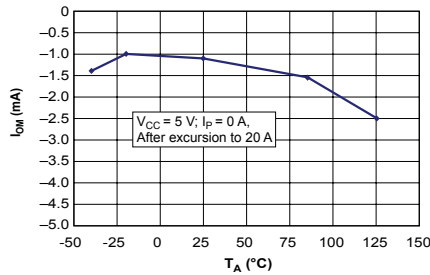
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



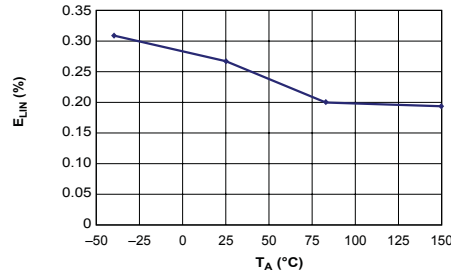
Supply Current versus Supply Voltage



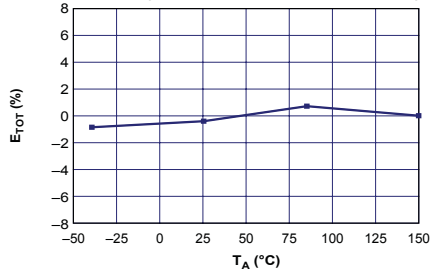
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



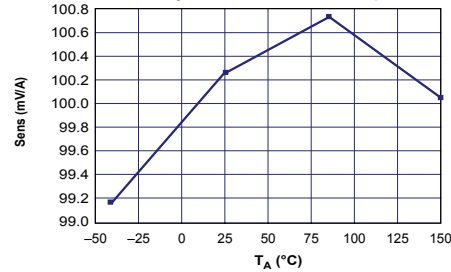
Nonlinearity versus Ambient Temperature



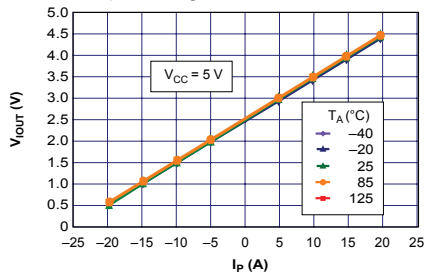
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



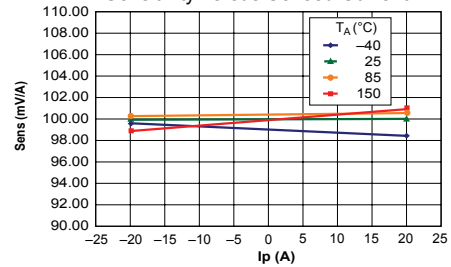
Sensitivity versus Ambient Temperature



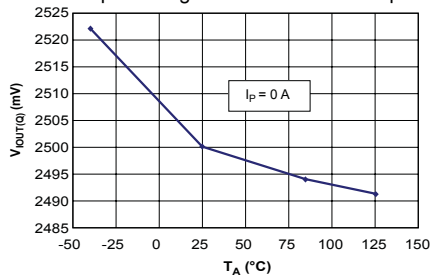
Output Voltage versus Sensed Current



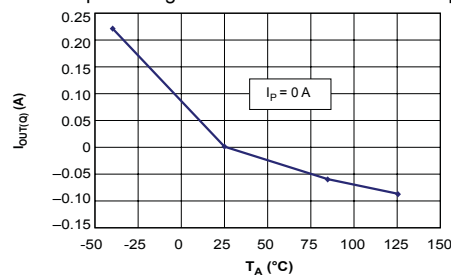
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



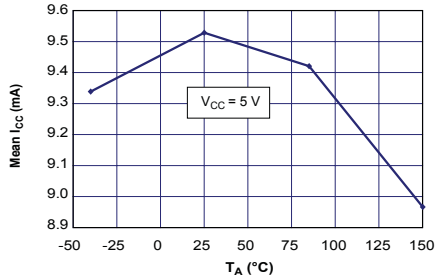
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



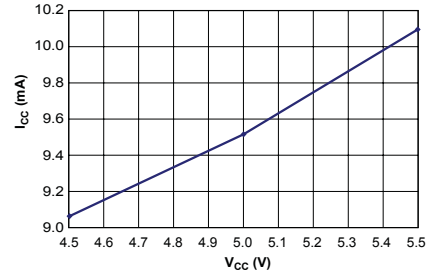
Characteristic Performance

$I_p = 30$ A, unless otherwise specified

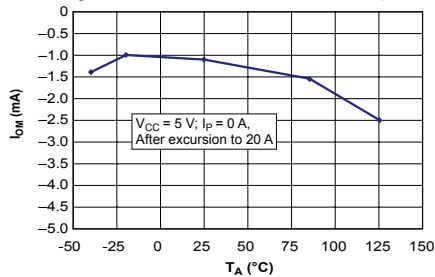
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



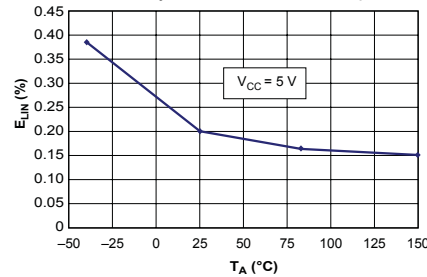
Supply Current versus Supply Voltage



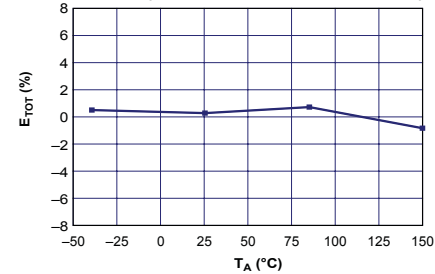
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



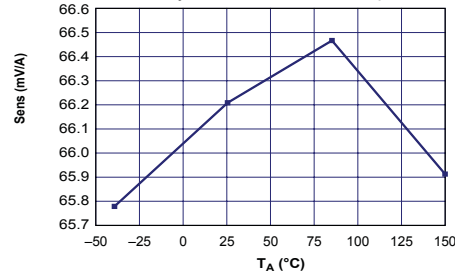
Nonlinearity versus Ambient Temperature



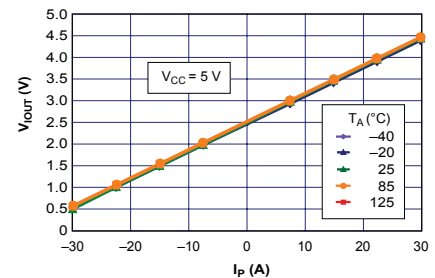
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



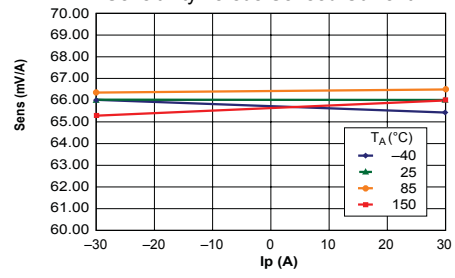
Sensitivity versus Ambient Temperature



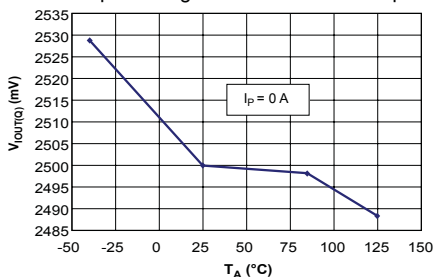
Output Voltage versus Sensed Current



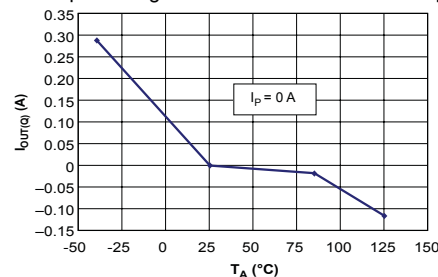
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in device output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{sat} (V_{\text{IOUT_full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})}{2 (V_{\text{IOUT_half-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where $V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale $\pm I_P$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT_+ full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}}}{V_{\text{IOUT(Q)}} - V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}} \right)$$

Quiescent output voltage (V_{IOUT(Q)}). The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, $V_{CC} = 5$ V translates into $V_{\text{IOUT(Q)}} = 2.5$ V. Variation in $V_{\text{IOUT(Q)}}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

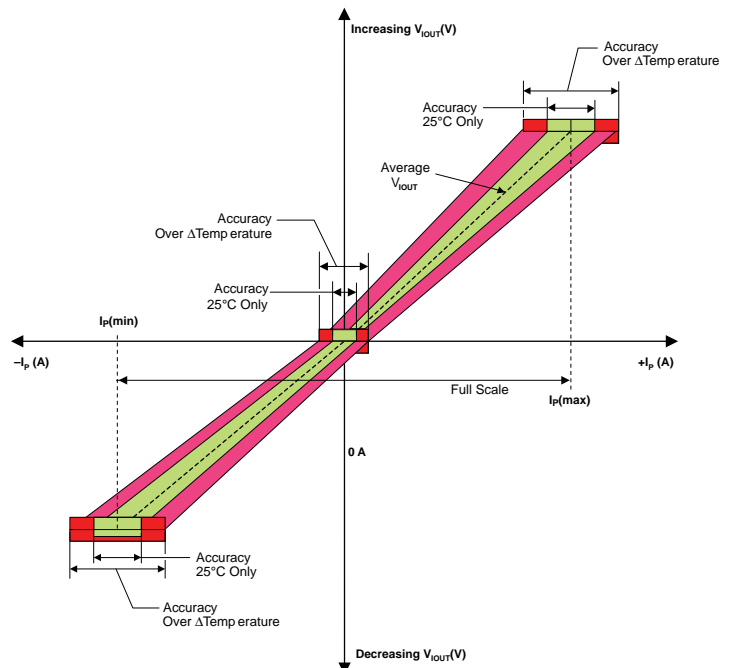
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{IOUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{IOUT(Q)RAT}}$ (%).

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT(Q)}/V_{CC}} / V_{\text{IOUT(Q)}/5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta \text{Sens}_{\text{RAT}}$ (%), is defined as:

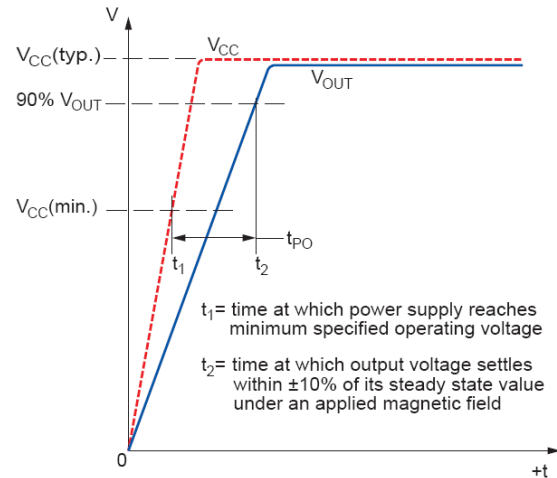
$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{V_{CC}} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

Output Voltage versus Sampled Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

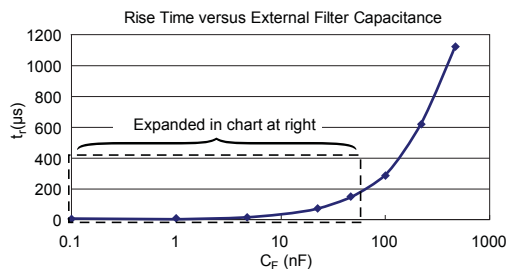
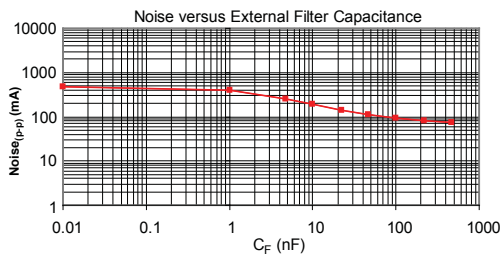
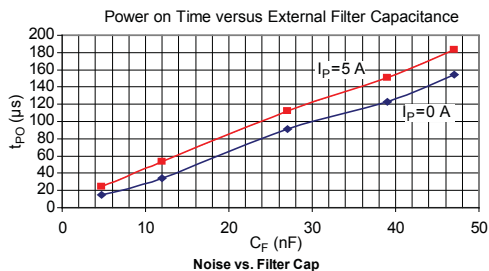
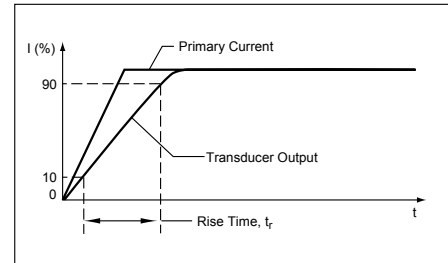


Definitions of Dynamic Response Characteristics

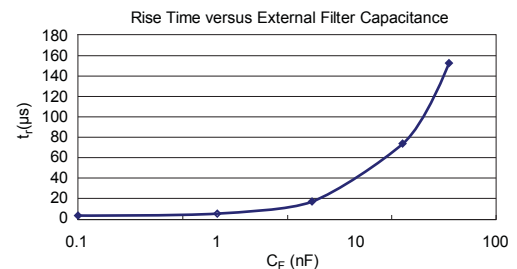
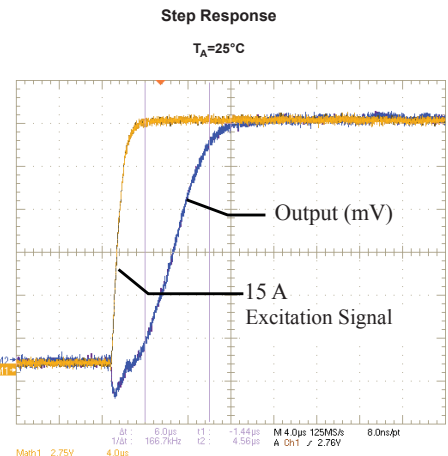
Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC(min)}$, as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which $f(-3\text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (nF)	t_r (μ s)
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	623
470	1120

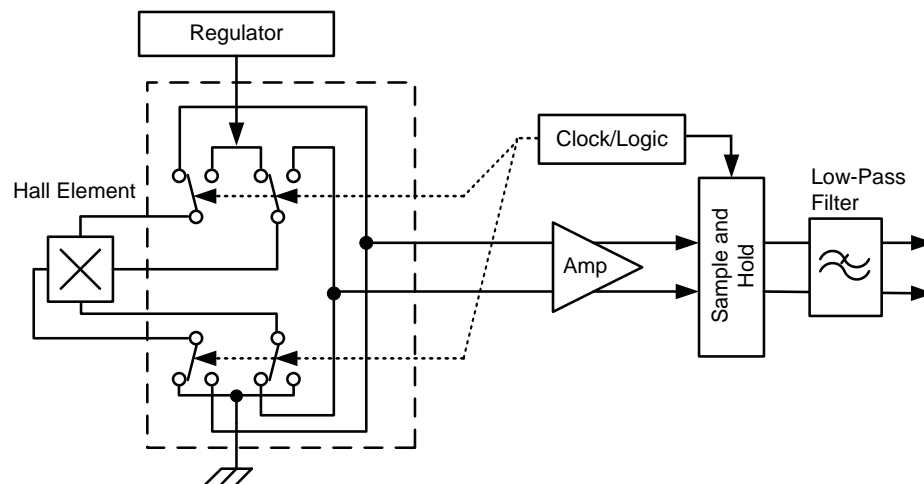


Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired DC offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated DC offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through

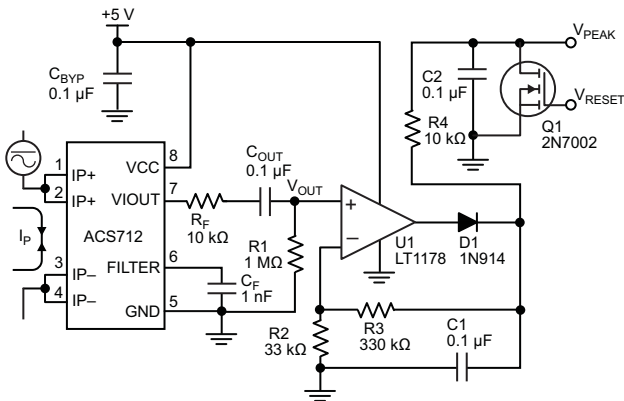
the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

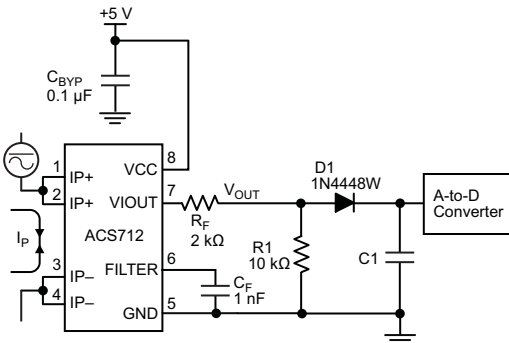


Concept of Chopper Stabilization Technique

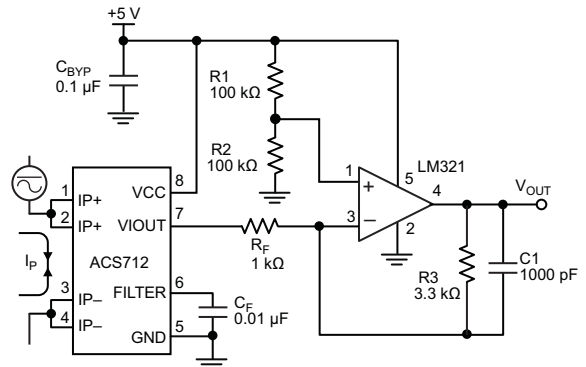
Typical Applications



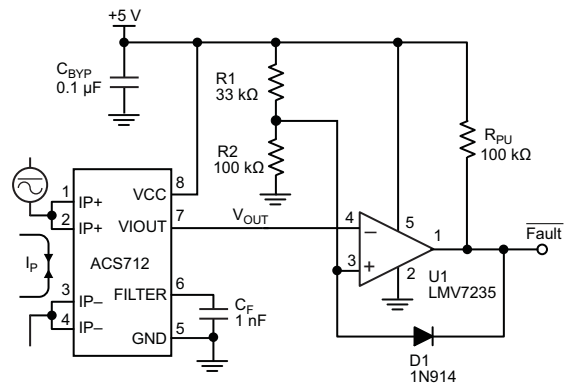
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the device. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the device output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable device output attenuation — even for DC signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

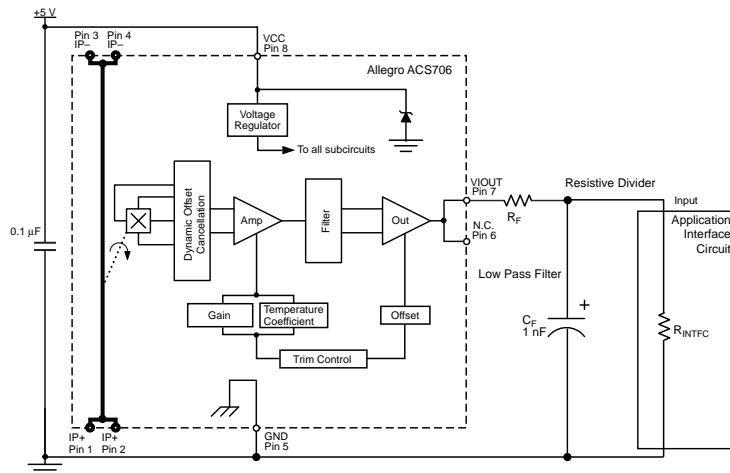
$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

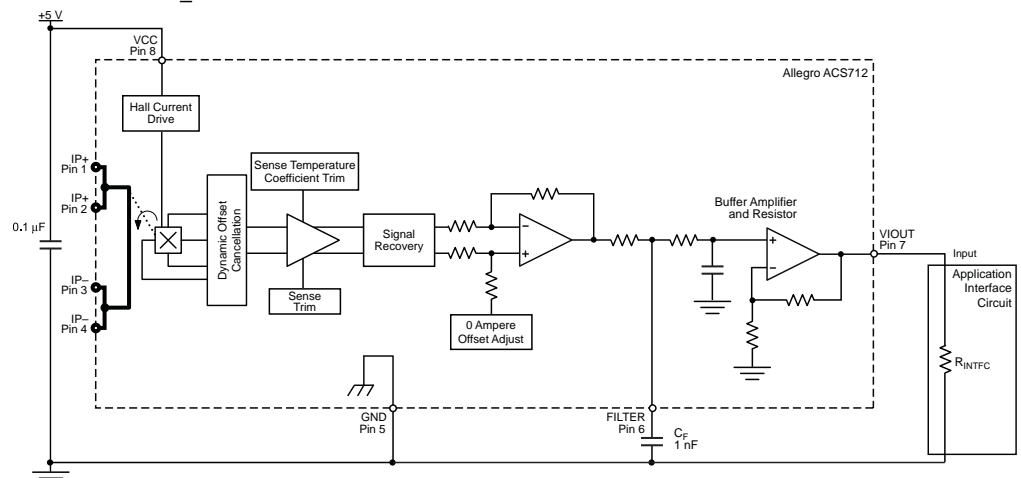
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

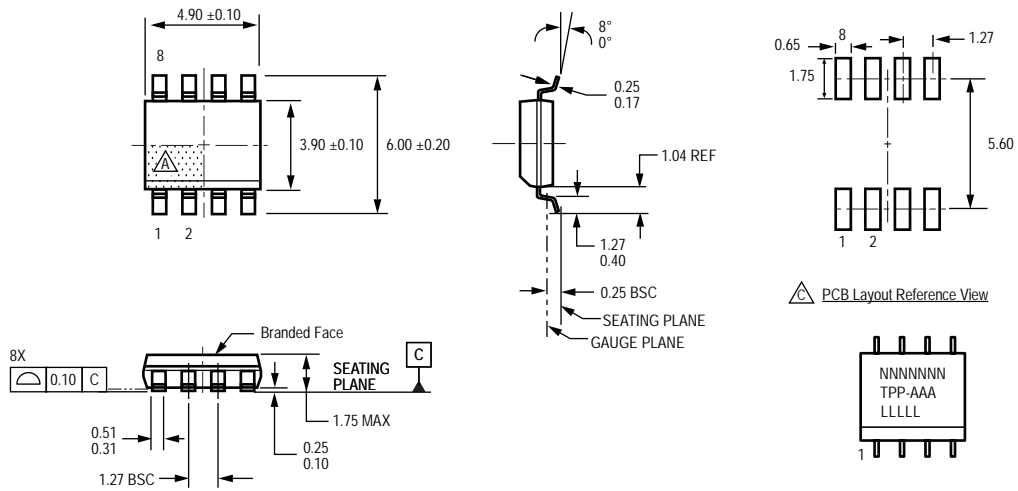
Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} .



Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.



Package LC, 8-pin SOIC



For Reference Only; not for tooling use (reference MS-012AA)
 Dimensions in millimeters
 Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions
 Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

- Terminal #1 mark area
- Branding scale and appearance at supplier discretion
- Reference land pattern layout (reference IPC7351 SOIC127P600X175-8M); all pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances

PCB Layout Reference View

Standard Branding Reference View

N = Device part number
 T = Device temperature range
 P = Package Designator
 A = Amperage
 L = Lot number
 Belly Brand = Country of Origin

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
Rev. 15	November 16, 2012	Update rise time and isolation, I _{OUT} reference data, patents

Copyright ©2006-2013, Allegro MicroSystems, LLC

The products described herein are protected by U.S. patents: 5,621,319; 7,598,601; and 7,709,754.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com



5. Datasheet Placas Solares



Features:

- High efficiency.
- High transparent low-iron, tempered glass.
- Unique techniques give the panel following features: aesthetic appearance, with stands high wind-pressure and snow load, and easy installation.
- Outstanding low-light performance.
- Nominal DC for standard output.
- Unique technology ensure that problems of water freezing and warping do not occur.
- Design to meet unique demand of customer.

Quality Assurance:

Realsun photovoltaic modules have passed the following tests.

Thermal cycling test.

Thermal shock test.

Thermal/freezing and high humidity cycling test.

Electrical isolation test.

Hail impact test.

Mechanical, wind and twist loading test.

Salt mist test.

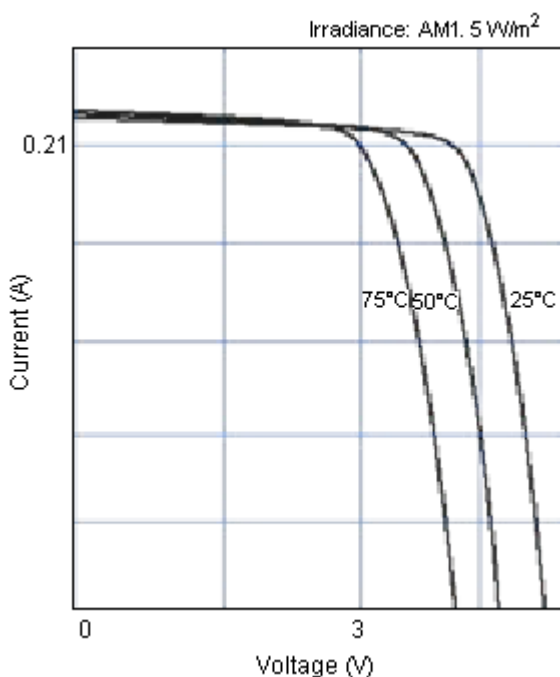
Light and water-exposure test.

Field exposure test.

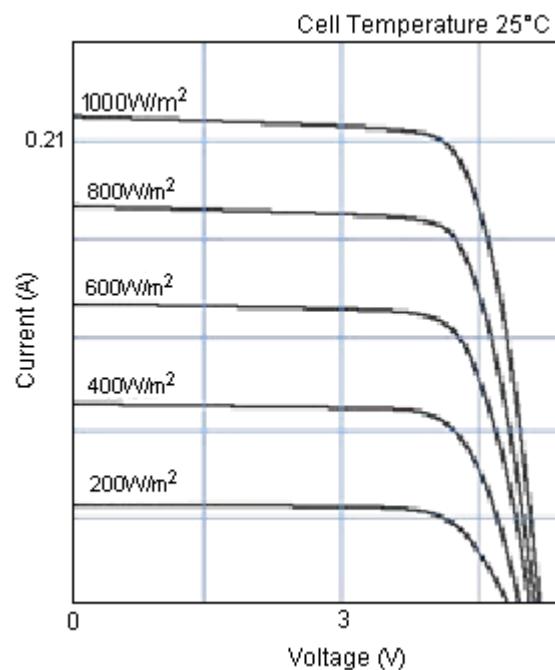
Electrical Characteristics:

I-V Curves

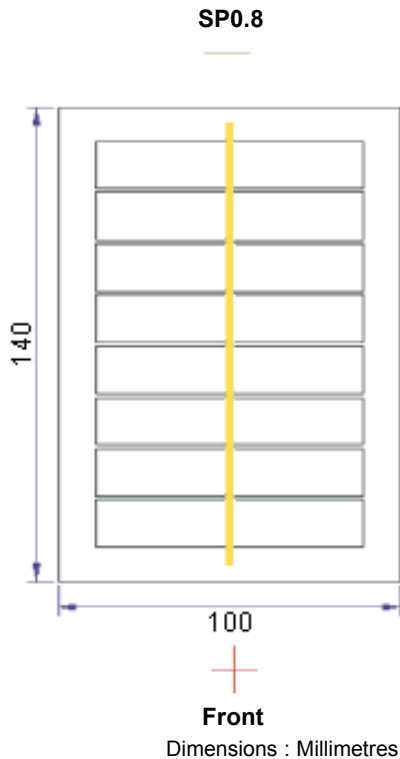
Current-voltage characteristics of photovoltaic Module SP0.8 at various cell temperatures



Current-voltage characteristics of photovoltaic Module SP0.8 at various irradiance levels



Physical Specifications



Specifications:

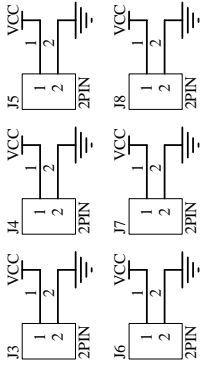
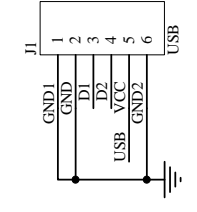
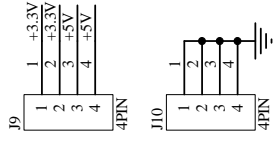
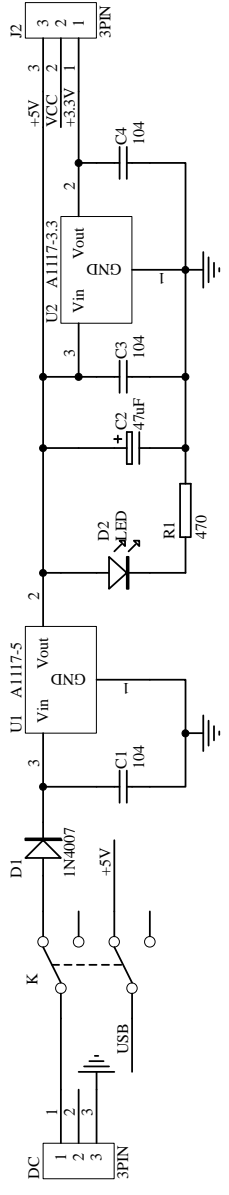
MONO or poly	: Poly.
Maximum power	: 0.8Wp.
Maximum power voltage	: 3.85V.
Maximum power current	: 0.21A.
Open circuit voltage	: 4.80V.
Short circuit current	: 0.23A.
Size of module	: 140 x 100 x 4.9mm.
Weight	: 134g.
Package	: 1pc/box.
Maximum system voltage	: 720V dc.
Temperature coefficients of Isc	: 0.06%/K.
Temperature coefficients of Voc	: -0.36%/K.
Temperature coefficients of Pm	: -0.45%/K.
Temperature range	: -40°C to +85°C.
Surface maximum load capacity	: 60ms (200kg/sq.m).
Allowable hail load	: Steel ball fall down from 1m height.
Length of cables	: Terminals.
Output tolerance	: ±3%.
Frame (material, corners, etc.)	: Aluminium (epx 0.8w).
Warranty	: Free from defects in materials and workmanship for 5 years/10 years on 90% of the minimum power output/25 years on 80% of the minimum power output.

Part Number Table

Description	Part Number
Solar Panel, 0.8W, 4V, No Frame	MC-SP0.8-NF-GCS

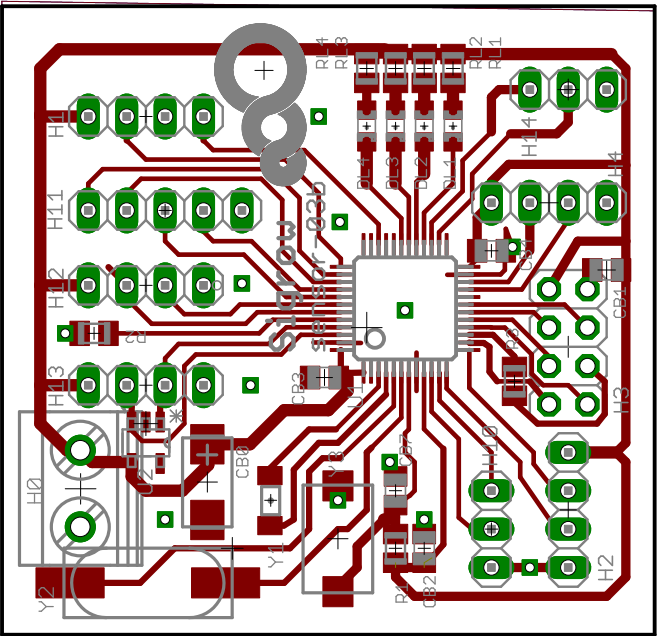
Disclaimer This data sheet and its contents (the "Information") belong to the Premier Farnell Group (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. SPC Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2010.

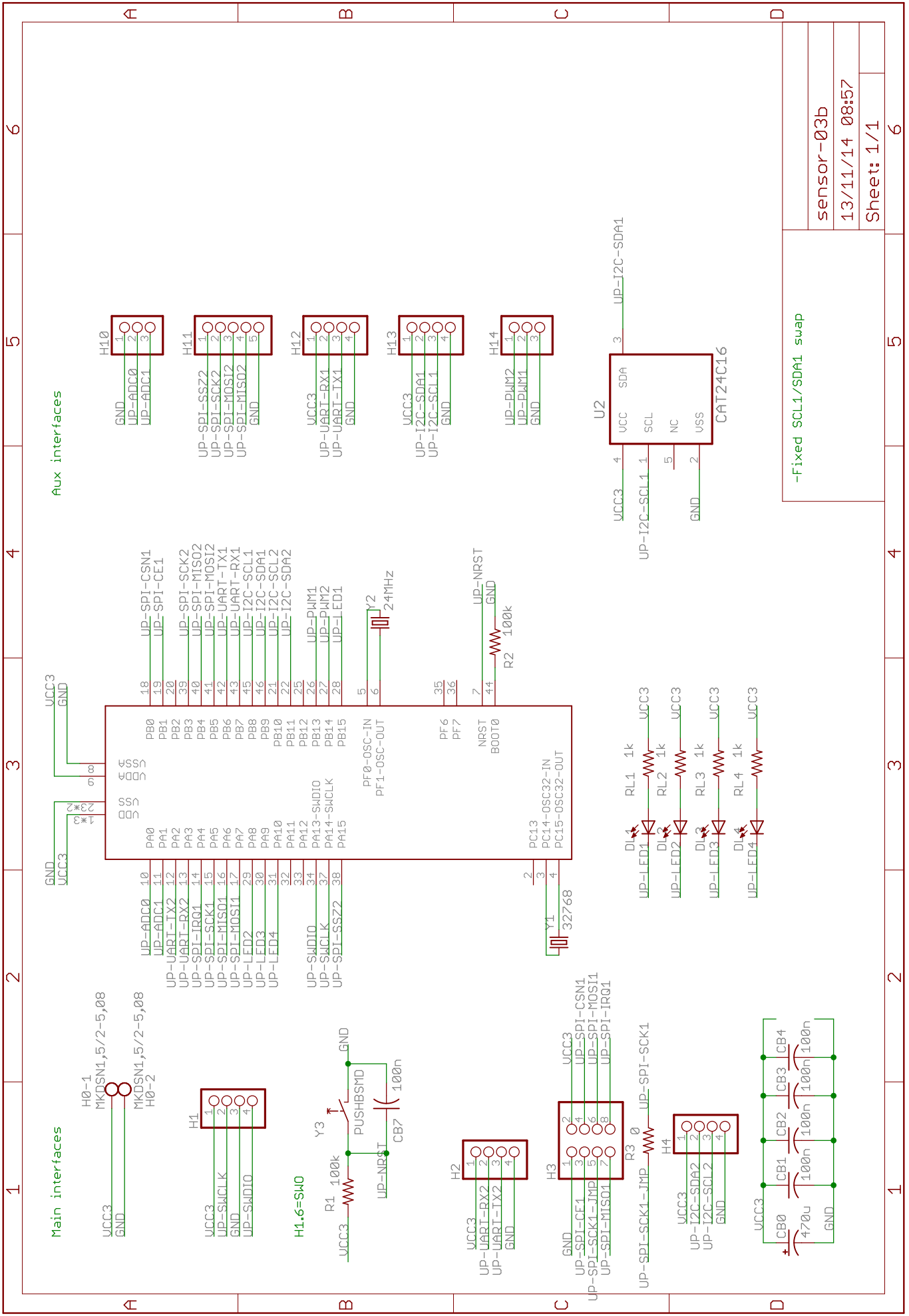
6. Esquemático Fuente de Alimentación YwRobotMB102



Title	
Size	Number
A4	
Date:	Revision
19-Sep-2010	
File:	Sheet of
F:\电路设计\面包电源\MyDesign.ddb	4
	Drawn By:

7. Esquemático Microcontrolador





sensor-03b
13/11/14 08:57
Sheet: 1/1

6

5

4

3

2

1

6

5

4

3

2

1

8. BOM

BOM: Bill Of Materials

Identif	RS-Reference	Vendor Reference	Descripcion	Package	Price	Mfn order	Categoría Eagle	Nombre Eagle
C1	820-2787	GRM21BR61E475MA12L	Cerámico multicapa, 4.7uF, 25V	0805	0,036€	50	rcl	C-EUC0805 (C-EU)
C2	869-2092	C0805C104M3RACTU	Cerámico multicapa, 0.1uF, 25V	0805	0,012€	1000	rcl	C-EUC0805 (C-EU)
C3	820-2787	GRM21BR61E475MA12L	Cerámico multicapa, 4.7uF, 25V, Dieléctrico X5R	0805	0,036€	50	rcl	C-EUC0805 (C-EU)
C4	869-2092	C0805C104M3RACTU	Cerámico multicapa, 0.1uF, 25V	0805	0,012€	1000	rcl	C-EUC0805 (C-EU)
R1	223-0629	CRG0805F33K	33KΩ	0805	0,02 €	50	rcl	R-EU_R0805 (R-EU_)
R2	740-9022	CR0805-FX-3300GLF	330Ω	0805	0,01€	50	rcl	R-EU_R0805 (R-EU_)
R3	740-9022	CR0805-FX-3300GLF	330Ω	0805	0,01 €	50	rcl	R-EU_R0805 (R-EU_)
R4	678-4684	CRCW0402100KFKED	100KΩ	0603	0,04 €	50	rcl	R-EU_R0402 (R-EU_)
D1	692-0947	LTST-C171KGKT	LED Verde, 2.4V	0805	0,087 €	50	led	CHIP-LED0805
D2	692-0941	LTST-C171KRKT	LED Rojo, 2.4V	0805	0,087 €	50	led	CHIP-LED0805
T1	697-4610	NB12K00103KBB	Termistor tipo NTC, 10kΩ, cte tiempo térmica 5s	0805	0,232€	5		
U1	--	MAX8606	Integrado de carga	14 TDFN	Sample	--		
J1	737-8782	2410 01	Conector micro USB, 30V, 1A	USB-UB-S	0,83 €	1	myfibr2	USB-UB-S

Total Price

0,88 €

