

# Las Baterías de Li-ion

## Ventajas :

- Muy buena relación peso | potencia. Alta densidad de potencia
- Ciclo de vida extendido : soportan más de 500 recargas
- Poca autodescarga ( un 6% al mes)
- No tienen “efecto memoria“ por lo que se pueden cargar en cualquier momento o estado.
- Tensión de descarga gradual y constante. Son “muy nobles“, y se puede saber su estado de carga fácilmente.
- Alta tensión de trabajo, típicamente unos 3.6 V. Con una sola célula es posible alimentar equipos

## Veamos una comparación de las distintas baterías existentes :

	Ni-Cd	NiMh	Li-ion(coke)	Li-ion(grafito)
Densidad energía Wh/Kg	40	60	90	90
Densidad volumétrica Wh/l	100	140	210	210
Tensión nominal	1.2	1.2	3.6	3.6
Ciclo de vida	1000	800	1000	1000
Autodescarga (%   mes )	15	20	6	6
Ciclo de descarga máxima ( C ) *	10	3	2	2
Corriente de carga ( C ) *	1	1	1	1
Tensión de carga	1.5	1.5	4.1	4.2
Tiempo de carga	3	3	2.5	2.5
Detección Terminación de carga	dT/dt	inversión de curva	1min	1min
Temperatura de uso	15 - 40	15 - 40	10 - 40	10 - 40

8 C representa la capacidad nominal de la batería.  
Fuente : [EDN Magazine](#) (ed. 18-01-2001)

## Constitución :

Veamos el interior de una batería de Li-ion :



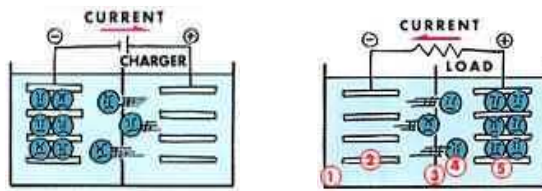
1. Cubierta del Cátodo
2. Junta
3. Aislante
4. Contacto externo del Cátodo
5. Orificio de seguridad
6. PTC ( resistencia seguridad)
7. Separador
8. Separador
9. Aislante
10. Pin central
11. Contenedor del ánodo
12. Cátodo
13. Contacto externo del ánodo
14. Anodo

La batería incluye dos elementos de seguridad :una PTC ( resistencia que se incrementa en función de la temperatura) y un orificio o válvula por si se producen gases.

El ánodo puede ser de dos compuestos: ánodo de grafito o ánodo de carbon. Este detalle será importante cuando veamos los métodos de carga. El principio de funcionamiento es bastante sencillo : conforme la batería se carga o descarga, los iones de litio se mueven de un lugar a otro.

## Método de carga:

El método de carga es relativamente sencillo, pero debe ser muy preciso. La tensión de carga es la siguiente



- Baterías con ánodo de grafito : tensión de final de carga de 4.1V ( 8.2V para dos elementos)
- Baterías con ánodo de carbon (coke) : tensión de final de carga de 4.2V ( 8.4V para dos elementos)

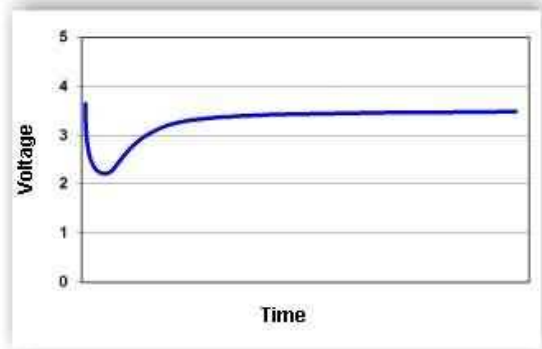
Por tanto, al llegar a esa tensión la carga debe pararse inmediatamente. La precisión exigida es del 1%. Si la sobrepasamos podemos acortar el ciclo de vida de la batería ( si se sobrepasa claramente se daña la batería ). Y si no se llega a esa tensión la carga no será completa.

El método de carga más usado es el conocido como "corriente constante - tensión constante". Consiste en empezar la carga con una corriente constante. Cuando se aproxima al final, el último empujoncito se le da con una tensión constante. Hay otros métodos más simples pero quizás más lentos. Lo importante es parar la carga cuando se alcanza el límite. Estas baterías tienen un rendimiento energético muy bueno durante la carga : casi toda la energía que reciben se usa para cargar la batería, con muy poco o nulo calentamiento.

### Problemas de estas baterías :

Que yo sepa, solo tienen un problema ( y además, poco documentado ) : la pasivación. No confundir este fenómeno con el llamado "efecto memoria" de las baterías de Ni-Cd.

La pasivación consiste en la formación de una película de cloruro de litio (LiCl) en la superficie del ánodo. De algún modo sirve para evitar la autodescarga, cuando la batería no está siendo usada. Esta delgada película es, funcionalmente, una resistencia. Pero está claro que puede producir una caída de tensión o "retraso" en la entrega de energía tal como se ve en esta figura :



Conforme la batería va siendo usada, esta fina película va desapareciendo. El problema está en que la caída de tensión puede ser lo suficientemente abrupta como para que el equipo se apague. Cuanto mayor sea la energía requerida al principio, más acusado puede ser el problema. Cuando dejamos de usar la batería, la película vuelve a irse formando.

Este fenómeno depende de :

- diseño y constitución de la batería
- tiempo sin usar: cuanto mayor sea este tiempo, más gruesa será la capa de LiCl.
- temperatura de almacenamiento. Al mayor temp. mayor pasivación.
- temperatura de uso: en condiciones frías, este efecto será más "visible"
- ciclo : ciclos repetidos de pequeñas descargas separadas por el tiempo, acentúan el problema.

### Solución :

Para eliminar una pasivación "grave" hay que someter a la batería a varios ciclos de carga y descarga. La descarga debe ser con corriente relativamente alta (descarga rápida). Hay quien aconseja llevar a mano una resistencia de potencia para realizar una descarga previa y eliminar el pasivado ( esto habría que justificarlo en función de la aplicación).

## Carga de baterías Li-ion con Paneles Solares :

Recientemente en el Foro han aparecido mensajes reclamando ayuda para la realización de cargadores basados en paneles solares. Esto es necesario en situaciones donde no tenemos a mano una red eléctrica convencional. Hay varias filosofías de trabajo :

- carga directa usando un panel solar conectado a un cargador de baterías de 12 V . Hay que comprar un cargador de baterías capaz de funcionar a 12 V ( todos los fabricantes venden este accesorio para conectar al mechero del coche). Es un método caro ya que los fabricantes abusan mucho en este tipo de accesorios. Por otro lado, el panel solar debe proporcionar bastante energía ya que estos cargadores pueden consumir por sí mismos bastante.
- carga directa usando un panel solar y un cargador de diseño propio.
- usar el panel solar para cargar una batería de plomo ( como la de los coches pero de menor tamaño y peso). Una vez cargada, esta batería servirá para proporcionar energía a un cargador comprado o de diseño propio. Esta opción es óptima para las situaciones con "campamento base": la batería de plomo se carga en el campamento base durante el día. Durante la noche cargamos nuestra batería de Li-ion "chupando" de la de plomo.

Los paneles solares de precio razonable no entregan demasiada potencia (corriente) que digamos por lo que tardaremos varias horas en cargar la batería. Esto es un problema en sí mismo ya que lo ideal es que se cargue en un par de horas como mucho , mientras comemos, por ejemplo.

Paneles solares :

- Panel solar : se puede usar uno de Solarex (silicio amorfo) de 1.4 W ( 14.5V, 100 mA ) o de 5 W ( 14.5V , 310mA) . Otra opción es un panel de silicio policristalino, que proporciona 7.5V a 150mA. Este puede ser óptimo si lo que se pretende es cargar una batería de 3.6V ( una célula), pero no darle tensión suficiente para la carga de baterías de dos células. Si se quiere usar el "método campamento base" cargando una batería de plomo, hay que comprar un panel que proporcione más de 13.8V ( lo digo por algunos paneles que se han citado en el foro que solo dan 13.2V, en realidad si dan más de 13.2V pero a una corriente limitada, en el fondo solo cambia la manera de especificar el panel). Probablemente sea necesario un circuito para controlar la carga de esta batería de plomo. Seguro que existen cientos de paneles y fabricantes , con mejores precios.

## Consideraciones sobre el cargador:

**Atención: si alguien se anima a realizar alguno de estos circuitos, deberá monitorizar la tensión de carga en todo momento y hacer pruebas exhaustivas antes de darlo como válido. En caso contrario se puede llegar a explosiones y daños irreparables en las baterías. Mucho cuidado con estas cosas.**

La idea es hacer un cargador sencillo y que se pueda conectar a un panel solar o a una fuente de 12 V ( ya sea el mechero de un coche o una batería de plomo "en el campamento base".)

Os adelanto que no acabo de encontrar la solución óptima. Para el caso de las baterías de 3.6V si he localizado la solución ideal. Pero para el caso de dos células ( por desgracia creo que la mayoría de los equipos ) no encuentro una solución óptima. Entiendo por solución óptima aquella que sea supersimple de montar, con ningún o casi ningún componente extra, que sea barata y que sea óptima desde el punto de vista de la carga de la batería.

## I. La problemática :

Para cargar una batería de Li-ion hay que controlar con una precisión del 1% la tensión final de carga. He medido la tensión de carga de mi cargador Sony y mi batería FS11 ( 3.6V 1140mA). Esta batería debe tener el ánodo de coke ( ver tabla de arriba) por lo que su tensión final de carga debe ser de 4.20 V. Os resumo las medidas :

- Tensión inicial ( descargada) : 3.5 V
- Tensión a los 30 segundos : 4.01 V
- Tensión a los 20 minutos : 4.10 V
- Tensión a las dos horas ( fin de carga) : 4.22 V

, veis donde está el “problema“ ? Pues que la diferencia de tensión a los 20 minutos de carga y a las dos horas ( 20% de carga o 100% ) es de tan solo 0.100 V ( 100 milivoltios ) lo que representa un 2.5 % de la tensión final de 4.2V. Por tanto, si nuestro cargador tuviese esa precisión y se desviase hacia abajo en esa proporción, se daría el caso de que la batería se cargara solo el 20% . Y lo que es peor, si la desviación fuese hacia arriba, se alcanzaría 4.3V , ya fuera de la zona de seguridad para evitar sobrecargas.

Desde mi punto de vista ( y desde el punto de vista de los fabricantes de baterías y chips especializados ) se necesita una referencia de tensión muy precisa. Se suele hablar de precisiones del 1%. No valen soluciones basadas en reguladores de tensión tipo 7809 o 7805 ( precisión peor del 3% ) ni diodos zener normales, etc. Salvo que se compre un buen lote de componentes, digamos 5 o 10, y se mida uno a uno hasta seleccionar el apropiado. O se haga un ajuste a mano mediante un potenciómetro y un voltímetro. Además, este tipo de soluciones no va a tener dispositivos de seguridad, chequeo del estado inicial de carga ( es muy malo darle mucha carga a una batería super super descargada, hay que empezar poco a poco ), LEDs indicadores de fin de carga, etc ... y todo lo que le pedimos a un cargador comercial. El caso es que gracias a circuitos integrados especializados podemos hacernos un cargador que no tenga nada que envidiar al que nos venden los fabricantes ( ellos usan chips similares).

## 2. La solución:

Después de una cierta investigación de mercado, propongo las soluciones :

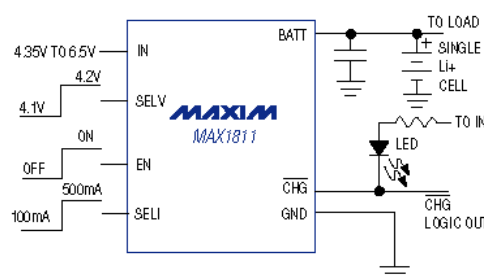
- Para la carga de baterías de 3.6V ( una célula ) : circuito integrado [MAX1811](#) ( maxim ) . Una joya de bicho. No necesita ni un solo componente externo. Precisión del 0.5%, salida para diodo luminoso, sistema de protección para baterías muy descargadas, etc. La corriente de carga es seleccionable : 100mA o 500mA. Y vale para los dos tipos de baterías de li-ion ( la de 4.1 y la de 4.2V ) seleccionable. Regula tanto la tensión como la corriente, no es necesario limitar la corriente. Está especialmente pensado para alimentarse del bus USB, pero se le puede alimentar con un panel solar de 7.5V ( o más ).

Admite un máximo de 7V por lo que para evitar disgustos habría que anteponerles un regulador de tensión 7805 ( de este modo lo podemos enchufar al panel solar, a la batería de plomo, al coche... etc ). Como ventaja adicional, tiene un encapsulado de 8 patas pero relativamente grande, lo que facilita su montaje “chapucero“. Si utilizamos una alimentación de 12V y seleccionamos una carga de 500 mA, el regulador de tensión se va a calentar mucho ( disipará aproximadamente unos 3.5 vatios) por lo que hay que montarlo en un disipador de dimensiones medias. Si estamos absolutamente seguros de

que la alimentación que le llega al MAX1811 es de menos de 6.5 V, no hace falta dicho regulador ( puede ser una tensión que se obtenga de unas baterías de plomo de 6 V , opción que llamamos “campamento base“). En este caso el integrado será el que se caliente, pero no hay que asustarse, hasta los 135° no entra una autoprotección que lleva incluida. Es normal que se caliente. Al entrar la protección, simplemente proporciona menos corriente de carga.

En mis pruebas, el LED indicador de carga se ha apagado a las 2 horas ( 500 mA de corriente) al llegar la tensión de carga a 4.1V ( yo tengo seleccionado un fin de carga a 4.2 V, el necesario para las baterías de Sony). Hay que dejarlo como una hora más para alcanzar la plena carga. Pero esto depende de la condición inicial, me tiene un poco desconcertado. Esto no viene documentado en el data sheet ( o se me pasa algo ...). Mi batería es la Sony FS11 (1250mA, 3.6 V).

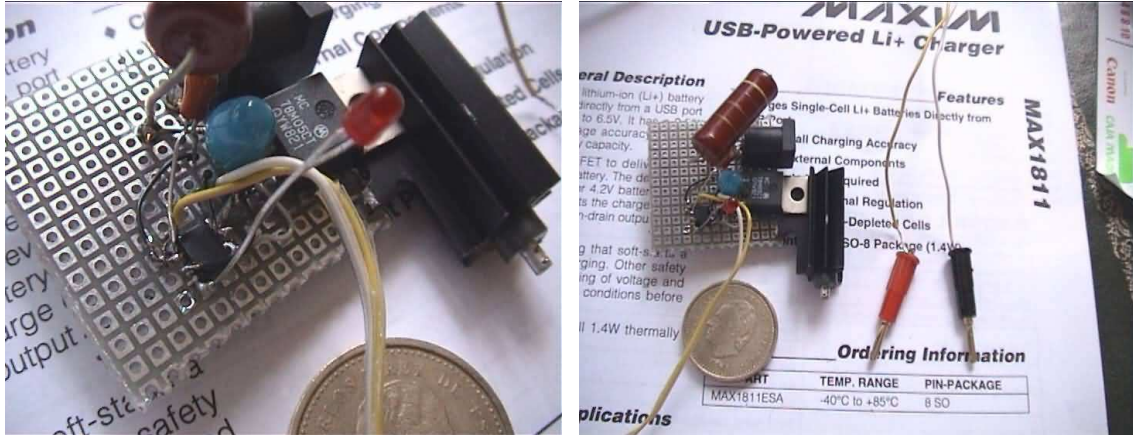
Pero lo importante es que al llegar a 4.20 V exactamente, la carga finaliza, con lo que no dañamos la batería. El circuito, sin incluir el regulador de tensión previo, es el siguiente :



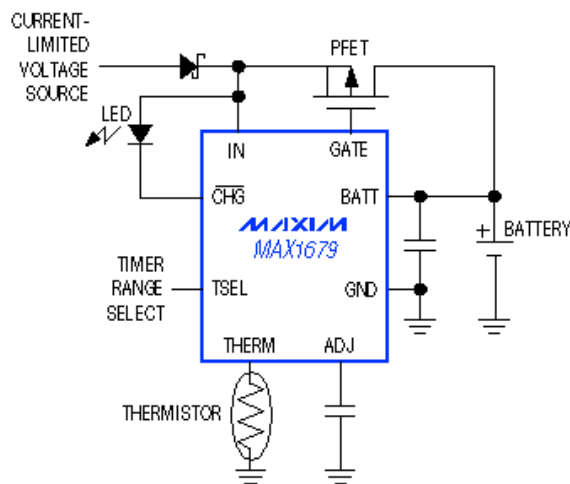
Como veis solo se necesita un condensador de salida ( en paralelo con la batería ) de 3.3 uF I 35V . Como “lujo“, se puede poner un diodo luminoso ( LED) indicador de fin de carga. Precisa una resistencia de 620 ohmios ( en el caso de que la alimentación de entrada sea de 5V, en otros casos habría que echar cuentas sabiendo que la tensión en el diodo debe ser de 2.1V y la corriente de 5 mA ).  $R = V / I \rightarrow R = ( V_{in} - 2.1 ) / 0.005$

Las señales de control SELV y SELI hay que ponerlas a (-) GND, o conectarlas a la entrada IN dependiendo de lo que queramos ( 4.1V o 4.2V de tension final, 500 o 100 mA de corriente de carga). La pata EN debe de estar conectada a IN para habilitar el chip. Todo esto viene en el [data sheet](#).

Aquí tenéis las fotos de mi chapuza. En primer plano, una resistencia gorda que puse para evitar quemar el regulador 7805 (necesita un disipador mayor). El pobre MAX1811 casi ni se ve.



Otro chip que me gusta es el [MAX1679](#), pero requiere un transistor externo y un diodo. Como ventaja, se puede poner un temporizador para protección adicional. Y también un termistor para comprobar la temperatura de la batería ( no es bueno cargar las baterías en condiciones extremas de temperatura. pero esto lo puedes tener en cuenta tu mismo)



## Diseño de un cargador de Li-ion para baterías de 7.2 ( 7.4 ) V

- Para la carga de baterías de 7.2 V : no acabo de encontrar un chip tan óptimo como el anterior. Hay muchos candidatos pero los que he visto tienen un problema: necesitan componentes externos ( un diodo y un transistor como mínimo ) y los chips tienen muchas patas, lo cual complica un montaje en plan casero.

El circuito que hay más abajo no acaba de gustarme al 100% : no tiene conexión a un LED que te indique el fin de carga. Nunca vamos a saber en qué momento la carga finaliza. Aunque si lo vamos a dejar varias horas está claro que se finalizará la carga.

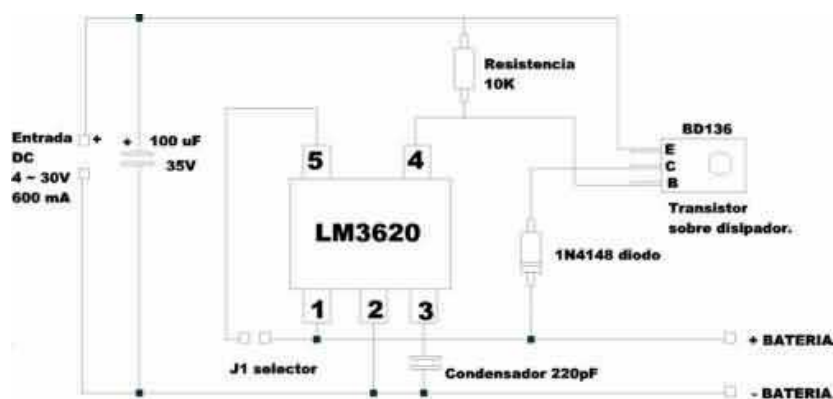
Voy a presentar un posible circuito cargador. Está basado en un chip especializado para esta función, por lo que la lleva a cabo con total seguridad y prestación. En el mercado hay muchísimos fabricantes de chips que hacen este tipo de circuitos. La elección la he hecho siguiendo unos criterios fundamentales : muy sencillo ( con muy pocas patas, lo que posibilita un montaje casero sin necesidad de circuito impreso), muy barato y fácil de adquirir. He elegido el [LM3620](#) de National Semiconductor. Otro que me gusta mucho ( en realidad, es mejor) es el MAX1679, es para una sola célula y permite una temporización máxima, la carga es más inteligente , pero no lo he localizado en el catálogo.

Una cosa que no me gusta de este circuito es que no tiene indicación luminosa de fin de carga.

El circuito vale tanto para baterías de una sola célula ( 3.6V de salida) como para baterías de dos células ( 7.2V ). Lo que ocurre es que hay que comprar la variante del chip controlador adecuado ( LM3620M5-4 para el primer caso, o el LM3620M5-8 para el segundo caso). Mediante un selector incorporado se puede elegir la tensión de fin de carga, de 4.1 o 4.2 V ( o 8.2V o 8.4V para dos células) en función del modelo en concreto de batería que tengas.

El circuito se puede alimentar del típico alimentador - transformador barato que se enchufa directamente a la red. **ES ABSOLUTAMENTE FUNDAMENTAL** que el alimentador sea de corriente limitada. Dicha corriente será más o menos, la usada en la carga de la batería. Obviamente, también se puede alimentar del cargado solar, pero **NO** de la BATERIA de plomo ( ya que la batería no está limitada en corriente). Volveremos sobre este tema más adelante.

El esquema es el siguiente:



Es muy sencillo y se puede montar sobre una pequeña placa de plástico o de circuito impreso para prototipos. Hay que ser un poco manitas y usar un soldador de baja potencia ( 25W). Yo no lo he probado y tengo ciertas dudas sobre el transistor elegido.

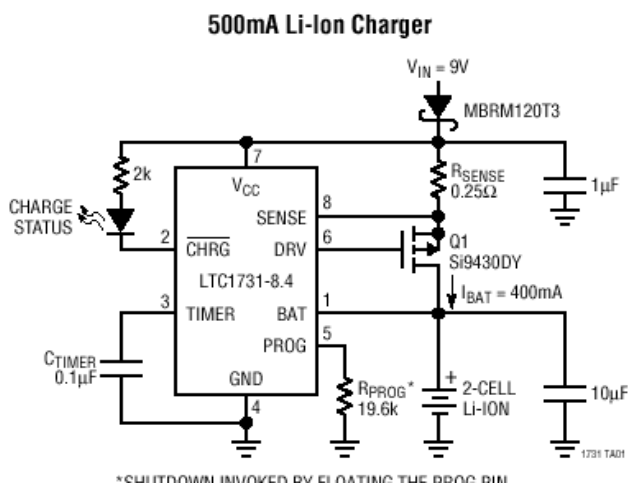
- Alimentador de entrada. Este montaje se basa en que la corriente de carga va a estar limitada por el alimentador que le pongamos a la entrada. Si este alimentador proporciona 600mA, la corriente de carga será esa. Si proporcionase 5 amperios, pues la corriente podría ser esa ( lo cual sería espantoso dependiendo de la batería). Por tanto, es absolutamente fundamental que el alimentador dé como máximo la corriente de carga. Este dato suele venir impreso en el alimentador. Uno recomendable, pues sería de por ejemplo, de 6V I 600 mA ( para el caso de querer cargar una batería de 3.6V ) o de 12 V I 600 mA para el caso de que la batería fuese de 7.2 V. Podemos elegir uno que dé 500 o 300 mA en función de la corriente de carga. Lo más normal es "cargar a 1/2 C" es decir, si la batería es de 1.2 A, la carga se hace a 600 mA. Si la batería es de 3A, la carga se hará a 1.5A . Por eso hay que elegir el alimentador de acuerdo a nuestras necesidades. La tensión del alimentador debe ser siempre netamente superior a la tensión de fin de carga ( 4.2V o 8.4V en cada caso)

Si se conecta directamente al panel solar no hay problemas, ya que los paneles "normales" dan muy poca corriente. Pero lo que **NO DEBEMOS** hacer es conectar este circuito a la batería de plomo de 12V ya que ellas no limitan la corriente ( son unas malas bestias, dan un corrientazo). Estoy estudiando una solución sencilla.

- Selector J1: sirve para seleccionar la tensión de fin de carga : si está en "abierto" la tensión será de 4.2 (

baterias de Li-ion con ánodo de carbon). Si está cerrado ( es decir, uniéndolo ) la tension de fin de carga será de 4.1 ( baterlas con ánodo de grafito). , Y como diablos conozco yo este dato ? Pues no lo sé. La unica manera es midiendo la tension durante un ciclo de carga con el cargador original suministrado. Ante la duda, lo mejor es cortocircuitar ( unir) para que el fin de carga sea de 4.1V : en el peor de los casos la carga será un poco incompleta. Si se ha obtado por la version de cargador para dos células, las tensiones de fin de carga son 8.4 o 8.2 V.

Otra solucion, basada en el [LT1731](#) casi parece más interesante :



Atencion: si alguien se anima ha realizar alguno de estos circuitos, deberá monitorizar la tensión de carga en todo momento y hacer pruebas exhaustivas antes de darlo como válido. En caso contrario se puede llegar a explosiones y daños irreparables en las baterias. Mucho cuidado con estas cosas.