



# Cargador

PPS - Cerco virtual

Matias Ariel Ramirez y Fabio Vidal  
29 de junio de 2024

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Requisitos</b>	<b>3</b>
2.1. Módulo LoRa: RFM95	3
2.2. ESP32	3
2.3. GPS: NEO-6M	4
2.4. Consumos	4
2.4.1. Originales	4
2.4.2. Cambio de requisitos	5
2.5. Otros requerimientos	5
<b>3. Controlador</b>	<b>6</b>
3.1. PWM	6
3.2. MPPT	6
3.3. Comparación	8
3.4. Elección	9
<b>4. Componentes</b>	<b>9</b>
4.1. Módulo BMS (HX-2S-01)	9
4.2. Cargador basado en TP4056	12
4.3. Solar Charger CN3065)	14
4.4. Solar Charger CN3791	16
4.5. Solar Charger: CN3065 vs CN3791	19
4.6. Voltage Booster	19
<b>5. Circuitos adicionales</b>	<b>20</b>
5.1. Load-Sharing (carga compartida)	20
5.2. Switching (intercambio de fuentes)	22
5.3. Histeresis	23
<b>6. Diseños final propuesto</b>	<b>23</b>
6.1. Versión 2.5	24
6.1.1. Etapa 1 - Switching	26
6.1.2. Etapa 2 - Cargador Solar	27
6.1.3. Etapa 3 - Histeresis	28
6.1.4. Etapa 4 - Load-Sharing	30
6.1.5. Etapa 5 - Salida (Alimentación)	31
6.2. Versión 1.3	32
6.3. Comparación	32
6.4. Fabricación del cargador	33
<b>7. Elección de componentes</b>	<b>34</b>
<b>8. Fallas</b>	<b>35</b>
8.1. Etapa 1 - Switching	35
8.2. Etapa 2 - Cargador Solar	35
8.3. Etapa 3 - Histeresis	35
8.4. Etapa 4 - Load-Sharing	36
8.5. Etapa 5 - Salida	36
8.6. Tabla de fallas	36

<b>9. Circuito enfriador</b>	<b>37</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>38</b>
10.1. Controlador . . . . .	38
10.2. Componentes . . . . .	39
10.3. Final . . . . .	40
10.4. Circuitos . . . . .	40
10.5. Diseño del circuito . . . . .	40

# 1. Introducción

En esta sección se realizará la elección y diseño de un cargador para las baterías que elegimos en la sección anterior, que deberá de cargarse mediante energía solar y la posibilidad de otra forma.

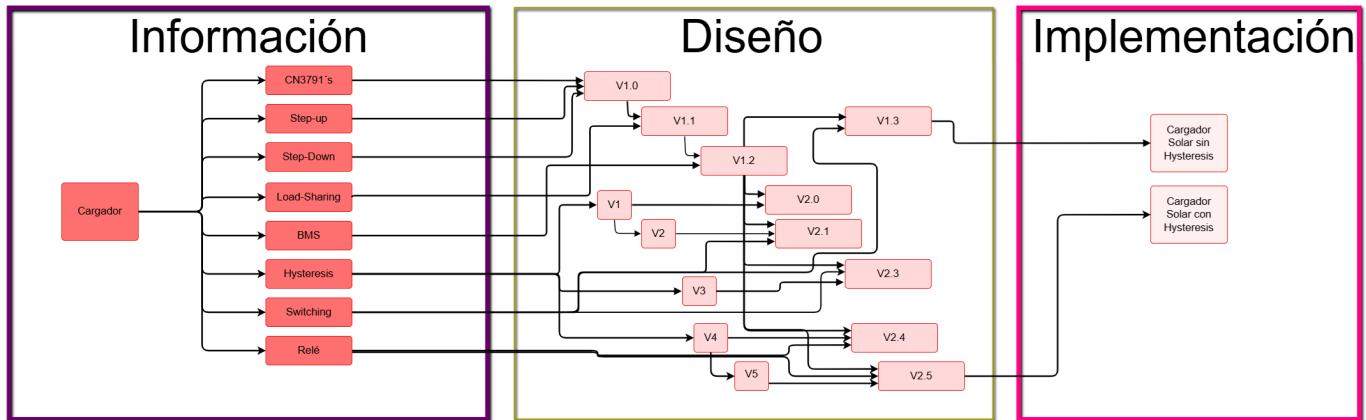


Figura 1: Diagrama de bloques sobre el cargador.

## 2. Requisitos

A continuación, se listan los parámetros eléctricos de los módulos propuestos por Denis Heredia y Sebastián Busch en su tesis "Estación base LoRa para sistemas de alambrado virtual", extraídos de sus respectivas hojas de datos.

### 2.1. Módulo LoRa: RFM95

Símbolo	Descripción	Mín	Máx	Unidad
VDDop	Voltaje de Alimentación	1.8	3.7	V
Top	Rango operacional de temperatura	-20	+70	°C
Clop	Capacitancia de carga de puertos digitales	-	25	pF
ML	Nivel de Entrada RF	-	+10	dBm

Cuadro 1: RFM95 (Tabla 50: Rango Operativo pp.12).

### 2.2. ESP32

Símbolo	Mín	Típico	Máx	Unidad
VBAT	-	-	4.5	V
Corriente	0	-	2.0	A
VBUS	-	-	30	V
I/* (digital)	-	-	38	mA
I <sub>o</sub> *(digital)	-	-	8	mA

Cuadro 2: GSM: SIM800L. (Tabla 41: Valores Máximos Absolutos, pp.58)

Tabla de la pp.60 indica que requiere un voltaje típico de 4.0V, lo cual consume 0.8W para un consumo de 200mA. Pero, durante la ráfaga de transmisión, que consume 2A, ¿Se eleva el consumo de potencia de 9W?

## 2.3. GPS: NEO-6M

Símbolo	Parámetro	Mín	Típico	Máx	Unidad
VCC	Alimentación	2.7	3.0	3.6	V
$I_{ccp}$	Máxima corriente de alimentación	-	-	A	V
$I_{cc}$ Tracking (max)	Corriente media	-	-	39	mA
$I_{cc}$ Tracking (Eco mode)	Corriente media	-	37	-	mA
$I_{cc}$ Tracking (Power save)	Corriente media	-	11	-	mA
$I_{cc}$ Adquisición	Corriente media	-	47	-	mA

Cuadro 3: NEO-6M (de Tabla 3.2: Condiciones Operativas y Tabla 3.3: Requerimientos de potencia indicativos, ambas en pp.15).

El mayor requerimiento de voltaje lo posee el módulo de GSM, con un máximo para la alimentación de 4.5V (si bien los valores en las condiciones operativas recomendadas especifican un mínimo de 3.4V, un máximo de 4.4V y un valor típico de 4.0V).

Los consumos promedios de corriente, de acuerdo con la tesis, son los siguientes:

## 2.4. Consumos

### 2.4.1. Originales

Descripción	Consumo mínimo (mA)	Consumo nominal (mA)	Consumo máximo (mA)	Voltaje (V)
ESP32 W-ROOM	20	120	260	2.7 - 3.6
SIM800L	0.7	350	2000	3.4 - 4.4
LoRa SX1276 (transmisión)	20	87	120	1.8 - 3.7
GPS NEO-6M	11	47	67	3.0 - 5.0
<b>TOTAL</b>	<b>51.7</b>	<b>574</b>	<b>2447</b>	<b>3.3</b>

Cuadro 4: Consumos máximos (el SIM 800L esta sujeto a cambios).

Descripción	Consumo (mA)
Transmisión SIM800L	0.7
Transmisión GPS NEO-6M	11
Funcionamiento y Recepción LoRa	87
Funcionamiento ESP32 W-ROOM con WIFI y BLE activados	120
<b>TOTAL</b>	<b>218.7</b>

Cuadro 5: Consumos promedios estimados.

Con estos datos en cuenta, y con el fin de que la estación tenga una autonomía de aproximadamente dos días, la tesis propone varias características a cumplir por la batería:

- Robusta y de larga vida útil (al menos 400 ciclos de carga).
- Dimensiones reducidas, en lo posible.

- Rango de temperatura acorde a la zona de operación.
- Bajo coste.
- Tensión de al menos 5V.
- Capacidad de 10000mAh o superior.

La tesis propone una batería de plomo ácido AGM, pero aquí se explorarán otras opciones, en particular las baterías de iones de litio, comúnmente denominadas Li-Ion. También se explorarán distintas opciones para cargadores, haciendo énfasis en lo económico, pero no por ello dejando de lado la seguridad y fiabilidad.

#### 2.4.2. Cambio de requisitos

Tras unos cambios en la siguiente etapa, se realizaron unos añadidos del diseño y por ende del consumo al duplicar los componentes del LoRa y ESP32:

Descripción	Consumo mínimo (mA)	Consumo nominal (mA)	Consumo máximo (mA)
ESP32 W-ROOM (x2)	40	240	520
SIM800L	0.7	350	2000
LoRa SX1276 (transmisión) (x2)	40	174	240
GPS NEO-6M	11	47	67
<b>TOTAL</b>	<b>91.7</b>	<b>811</b>	<b>2827</b>

Cuadro 6: Consumos máximos (el SIM 800L esta sujeto a cambios).

Descripción	Consumo (mA)
Transmisión SIM800L	0.7
Transmisión GPS NEO-6M	11
Funcionamiento y Recepción LoRa (x2)	174
Funcionamiento ESP32 W-ROOM con WIFI y BLE activados (x2)	240
<b>TOTAL</b>	<b>425.7</b>

Cuadro 7: Consumos promedios estimados.

#### 2.5. Otros requerimientos

A continuación se describirán mediante un listado los requisitos para nuestro cargador:

- Evitar que la batería se descargue por debajo del 50 por ciento mientras se cuente con energía para cargarla.  
Deberíamos de tener un detector para corroborar que hay energía solar (usando la información del panel) y crear algún indicativo de cuanta energía hay.
- Realizar ciclos de carga completos para baterías AGM, respetando los niveles de voltaje y amperaje en función del ciclo de carga. Se valorará que pueda cargar otro tipo de baterías
- Proteger la batería contra sobrecargas

- evitar que la batería se pueda descargar de noche en el campo fotovoltaico por inversión de corriente
- Facilidad de integración en un pcb
- Eficiencia para poder aprovechar la mayor energía posible
- Temperatura de operación de al menos entre -10°C y 40°C
- Posibilidad de ser alimentado con panel solar y otra fuente
- Rango de salida de 6V y 2A o superior
- Rango de entrada de acuerdo a los valores provistos por el panel solar, (18V) nose como escribirlo, todavía no definí el panel, como voy a decir los valores ¿

No es un requisito indispensable, sin embargo, se valorará que posea alguna interfaz para conocer los datos internos de la batería, como temperatura y nivel de carga. A fin de tener una posible escalabilidad en nuestro proyecto. También se tendrá en cuenta la posibilidad de manejar registros internos del IC para tener un mayor control del mismo.

### **3. Controlador**

En la siguiente sección se elegirá el tipo de controlador para el proyecto, siendo estos PWM y MPPT.

#### **3.1. PWM**

PWM significa modulación de ancho de pulso . Y un controlador de carga solar PWM, aclarado como un interruptor eléctrico entre baterías, se usa para regular la carga de baterías desde paneles solares.

El controlador de carga PWM se puede encender y apagar rápidamente. Posteriormente, se puede obtener el voltaje deseado para cargar las baterías. La corriente de carga disminuirá gradualmente a medida que se carguen las baterías.

Con un controlador de carga PWM, se espera que un cargador basado en luz solar de 12 voltios cargue una batería de 12 voltios, etc. Si utilizó un controlador de carga PWM de una batería de 12 V, pero con cargadores basados en luz solar de 48 V, el PWM ganó no cosechará la energía adicional entregada, solo recolectará 12V.

Comprar un regulador de carga PWM no es realmente una mala decisión a pesar de que es menos eficiente que un MPPT.

#### **3.2. MPPT**

MPPT, que significa Seguimiento del punto de máxima potencia , es un procedimiento para maximizar la potencia de salida del panel solar mediante el seguimiento y el ajuste continuos del punto de funcionamiento del sistema de energía solar hasta el punto en el que el panel produce la máxima potencia posible. Los cargadores alimentados por luz solar muestran resultados alterables según lo indiquen las condiciones climáticas.

Los controladores de carga MPPT pueden coordinar el voltaje del cargador alimentado por luz solar con el voltaje de la batería para aumentar la capacidad de carga . En estos marcos, se puede utilizar toda la fuerza de los cargadores alimentados por luz solar ajustando el voltaje y la corriente según la condición  $P = V \times A$ .

Por ejemplo, la cantidad de corriente extraída de los tableros se redujo para garantizar el voltaje cuando el clima está nublado. Cuando el clima es brillante, se permite sacar más corriente. Al usar un controlador de carga solar MPPT, puede usar una pantalla orientada al sol de voltaje que es más alta que el marco de su batería porque su regulador de carga reducirá el voltaje para que no domine su batería.

Suponiendo que necesita una mayor efectividad y está agotado por el estrés del contraste entre la batería y el voltaje del cargador alimentado por energía solar, coloque recursos en un regulador de carga MPPT. Simplemente debe asegurarse de que el VOC de sus placas esté por debajo del voltaje superior de su controlador de carga.

### 3.3. Comparación

	<b>PWM</b>	<b>MPPT</b>
Condiciones de temperatura	Menos 20-25 % de carga	Más adecuado para condiciones más frías
Costo	Más económico	Más caro
Voltaje de matriz	Los voltajes de la batería y la matriz fotovoltaica deben coincidir	El voltaje de la matriz fotovoltaica puede ser mayor que el voltaje de la batería
Voltaje de la batería	Funciona con el voltaje de la batería, por lo que funciona bien en temperaturas cálidas y cuando la batería está casi llena	Funciona por encima del voltaje de la batería, por lo que puede proporcionar un impulso en temperaturas frías y cuando la batería está baja.
Tamaño del sistema	Por lo general, se recomienda su uso en sistemas más pequeños donde los beneficios de MPPT son mínimos	Aproximadamente 150-200 W o más para aprovechar los beneficios de MPPT
Fuera de la red o Grid-Tie	Debe usar módulos fotovoltaicos fuera de la red normalmente con $V_{mp} = 17$ a 18 voltios por cada 12 V de voltaje nominal de la batería	Permite el uso de módulos fotovoltaicos de menor costo/conectados a la red que ayudan a reducir el costo general del sistema fotovoltaico
Método de dimensionamiento de matriz	Matriz fotovoltaica dimensionada en amperios (basado en la corriente producida cuando la matriz fotovoltaica está funcionando con el voltaje de la batería)	Matriz fotovoltaica dimensionada en vatios (basado en la corriente de carga máxima del controlador x voltaje de la batería)
Tipo de Módulo Solar	Sin soporte	Realiza un seguimiento del punto de máxima potencia (por lo tanto, MPPT) de estos módulos de conexión a la red menos costosos para cargar las baterías
Eficiencia		MPPT pueden extraer hasta un 30 % más de energía de un panel solar que los controladores PWM
Flexibilidad		Más flexibilidad, están diseñados para funcionar con una gama más amplia de voltajes de paneles solares y también pueden configurarse para funcionar con diferentes tipos de baterías
Carga de batería		Pueden cargar baterías de manera más eficiente y segura
Supervisión		A menudo vienen con capacidades de monitoreo integradas (rendimiento en tiempo real)
Tipo de Batería		Algunos están diseñados específicamente baterías de plomo-ácido o de iones de litio
Sombreado de paneles		Son mejores para manejar el sombreado y el sombreado parcial de los paneles solares

Cuadro 8: Comparación PWM vs MPPT.

### **3.4. Elección**

Tras haber visto una comparación entre los distintos tipos de controladores, se elegirá el controlador MPPT.

## **4. Componentes**

A continuación se comenzara a describir los componentes estudiados los cuales podrían servir para la creación de un cargador de batería.

### **4.1. Módulo BMS (HX-2S-01)**

Un BMS (Battery Management System) es un sistema que asegura que cada celda de la batería esté operando dentro de su Área de Operación Segura (SOA, por sus siglas en inglés), lo cual incluye:

- voltajes máximos y mínimos por celda (absolutamente necesario).
- corriente máxima (la mayoría de los BMS hacen esto)
- temperatura máxima (varios lo hacen)
- temperatura mínima (muy pocos BMS baratos hacen esto, aunque es muy importante para cargas en frío).

En muchos casos, los BMS también balancean la batería y, cuando son digitales, también pueden evaluar el estado de carga (State of Charge, SoC) y brindar información del estado de las celdas.

Dado que el BMS actúa como un interruptor de corriente, cada batería Li-ion necesita uno, imperativamente. Sin excepciones, pues su ausencia puede resultar en fallas catastróficas. Si posee un interruptor, se llama “BMS de protección”; si no lo tiene, se llama “BMS de balance” y envía un mensaje a un sistema externo que actúa como interruptor.

El interruptor en un BMS de protección consiste en dos MOSFETs, uno para controlar la carga y otro para la descarga. El BMS puede, entonces, dejar ambos abiertos si está todo en orden; cerrar el MOSFET de descarga si la batería se vacía, a la vez que permite la carga; cerrar el de carga si la batería está llena, mientras permite la descarga; cerrar ambos, en caso de exceso de corriente o temperatura.

Es estrictamente necesario recalcar que un BMS NO ES UN CARGADOR. Un cargador no protege, y un BMS no limita la corriente de carga, sino que la detiene (tampoco puede disminuirla o modificarla).

Una batería Li-ion requiere ambos dispositivos. A veces se venden dispositivos con ambos, y a veces es necesario comprar dos módulos separados. Para baterías pequeñas (<1kWh), los BMS chinos suelen brindar una protección básica y suficiente. En la práctica, no tiene sentido fabricar un BMS propio, salvo que sea para una aplicación muy específica y que abarque algo que no se encuentra en el mercado.

El módulo provisto se identificó como un BMS HX-2S-01 chino. Está diseñado para actuar como protección de dos celdas 18650 en serie.

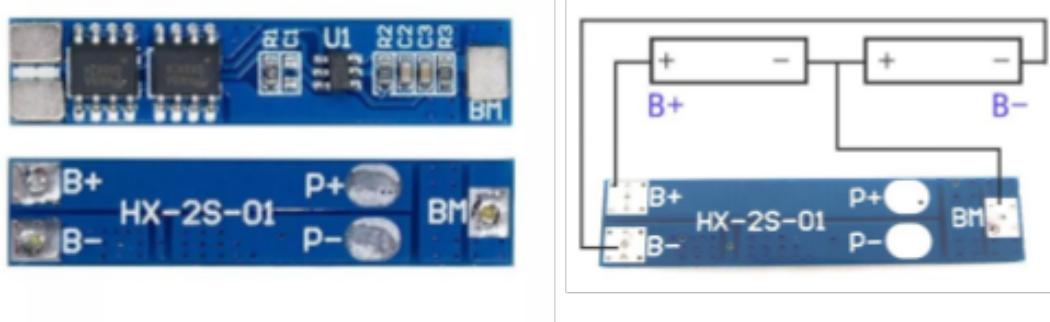


Figura 2: Módulo BMS (HX-2S-01) - .

Funciona en base al IC HY2120, para monitorear voltajes y corrientes durante las cargas y descargas, y dos MOSFET canal N para cortar cada uno la conexión correspondiente entre la batería, y el cargador o la carga. Funciona como protección, pero al carecer de alguna función de balance, la carga termina cuando la celda con mayor voltaje excede al máximo, y la descarga se corta cuando la celda de menor voltaje cae por debajo del umbral mínimo. Es decir, si las celdas no están balanceadas, entonces nunca se descargarán ni cargarán ambas por completo.

De la hoja de datos (pp. 4), se puede extraer que sus principales características son:

- Posee un circuito de detección de voltaje de alta exactitud.
- Tiene temporizadores generados por un circuito interno, que no requiere de capacitores externos.
- Es de bajo consumo de corriente.
- Los pines usados para el conector del cargador soportan hasta 33V como máximo.
- Tiene un amplio rango de temperatura operativa (-40°C a +85°C).
- Posee un empaquetado pequeño (SOT-23-6).
- La serie HY2120 está libre de Halógenos.

La conexión del IC para actuar como protección es la siguiente.

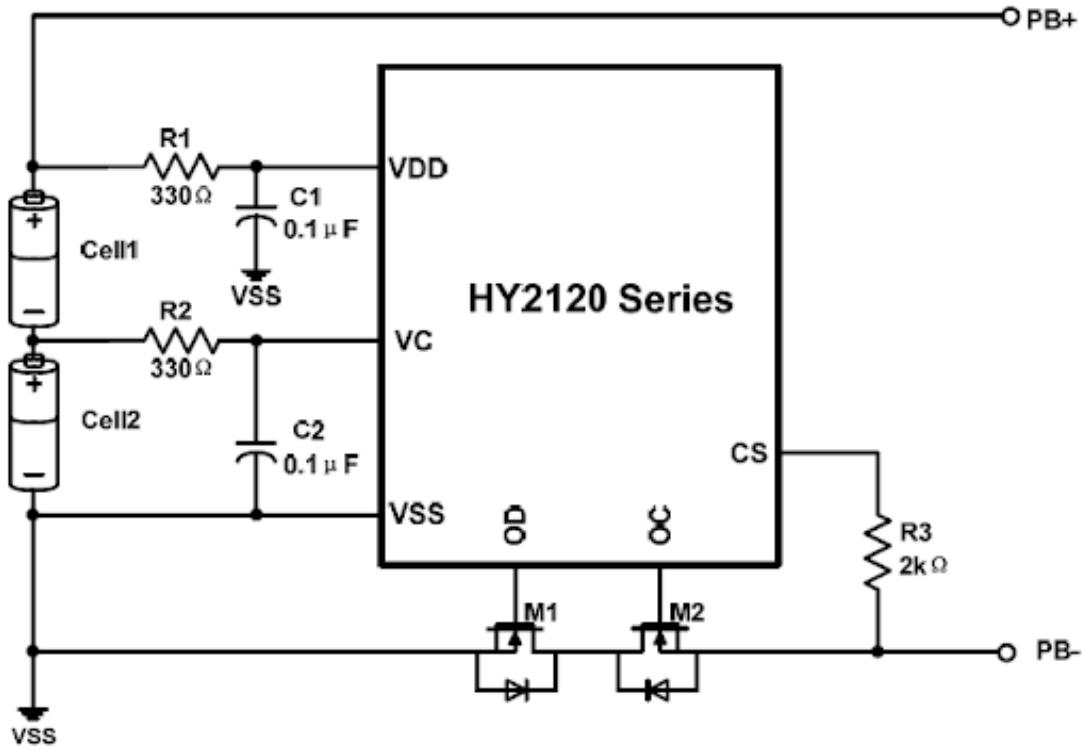


Figura 3: .

El cargador se conecta en los puertos PB+ y PB-, con un voltaje 8.4 9V. Los mismos puertos se utilizan para descargar mediante una carga.

Durante el funcionamiento normal, el IC monitorea el voltaje de la batería entre los pines VDD y VSS, y la diferencia de voltaje entre CS y VSS. Cuando el voltaje de las celdas 1 y 2 está en el rango entre los voltajes de detección de sobre-descarga (VDLn) y de sobrecarga (VCUn), y el voltaje en el pin CS entre los de sobre-corriente de carga (VCIP) y sobre-corriente de descarga (VDIP), el IC mantiene encendidos ambos MOSFET. Bajo esta condición, tanto la carga como la descarga se pueden llevar a cabo.

Si cualquiera de los voltajes de las celdas 1 (entre VCC y VC) y 2 (entre VC y VSS) es igual o mayor que el voltaje de detección de sobrecarga (VCUn, normalmente 4.2V), y continúa excediéndolo durante el tiempo de retardo de sobrecarga (TOC), el IC coloca el pin OC en un nivel bajo, y el MOSFET correspondiente se abre. La carga se detiene.

Si alguno de los voltajes de las celdas, en cambio, cae por debajo o es igual al voltaje de detección de sobre-descarga (VDLn, 2.9V en general), y se mantiene por un tiempo mayor que el de retardo de sobre-descarga (TOD), el IC pone en bajo el nivel del pin OD y apaga el MOSFET correspondiente. La descarga se detiene.

El pin OD también se pone en nivel bajo si se detecta un valor por encima de los voltajes de detección de sobre-corriente de descarga (VDIP) o de cortocircuito (VSIP) en el pin CS, y estos duran más que los tiempos de retardo de sobre-corriente de descarga (TDIP) o de cortocircuito (TSIP), respectivamente. Esto detiene la descarga de la batería.

De forma análoga, el pin OC también se pone en nivel bajo si el IC detecta un valor menor que el voltaje de detección de sobre-corriente (VCIP) en el pin CS, que se mantenga por un plazo mayor al tiempo de retardo de sobre-corriente de carga (TSIP). El MOSFET correspondiente se abre y se detiene la carga de la batería.

Es recomendable conectar un regulador de corriente a la entrada de los puertos PB+ y PB- para evitar sobre-corriente durante la carga.

Un posible problema surge del hecho que, bajo ciertas condiciones, los MOSFET apagados no retornan a su estado normal salvo con algún tipo de intervención manual. Esto supone un defecto

crítico para el uso que se pretende dar al dispositivo, que debe valerse de forma autónoma en la intemperie durante plazos de tiempo largos.

LEER BIEN DS-HY2120-EN.pdf (pp.12) PARA LOS MODOS DE SOBRECARGA, Y EL APARTADO "NOTICE". Ver bien las condiciones para restablecer los valores de los pines OC y OD. Puede indicar posibles fallos en caso de querer dejar este BMS solo en la intemperie.

## 4.2. Cargador basado en TP4056

Es un cargador de baterías construido en base al IC TP4056, que es similar al CN3065.

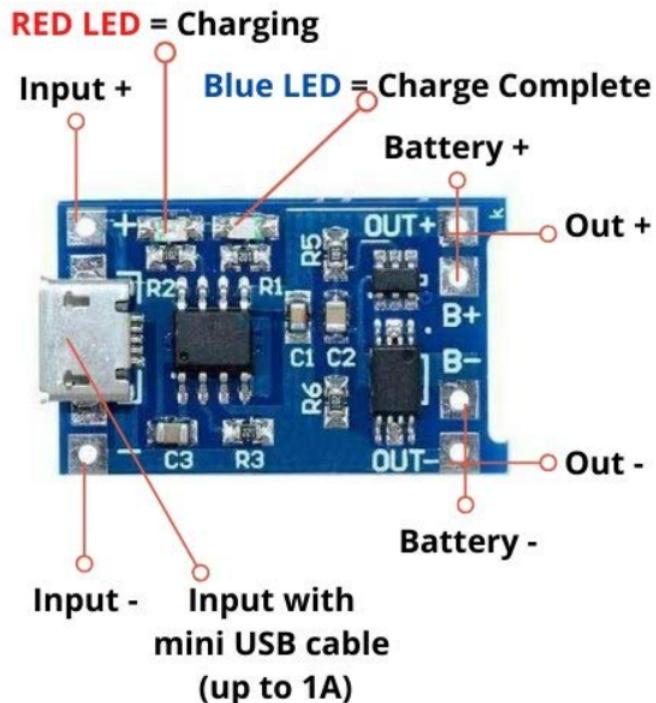


Figura 4: TP4056.

Puede funcionar tanto con USB como con adaptadores de pared. No requiere un diodo de bloqueo dada la arquitectura del PMOSFET interno, y tiene protección contra corriente de carga negativa. Una retroalimentación térmica regula la corriente de carga para limitar la temperatura en caso de estar en un ambiente de altas temperaturas o bien bajo un uso de alta potencia.

El voltaje de carga está fijo en 4.2V, y la corriente de carga puede programarse de forma externa mediante un resistor (hasta un máximo de 1000mA). El TP4056 finaliza la carga automáticamente cuando la corriente de carga cae a un décimo de su valor programado, después que el voltaje final haya sido alcanzado.

El TP4056 posee además un monitor de corriente, traba de bajo voltaje, recarga automática y dos pines para indicar la finalización y la presencia de un voltaje de entrada. El voltaje de entrada máximo que soporta es 8V.

Las imágenes siguientes ilustran una aplicación típica y un ciclo de carga.

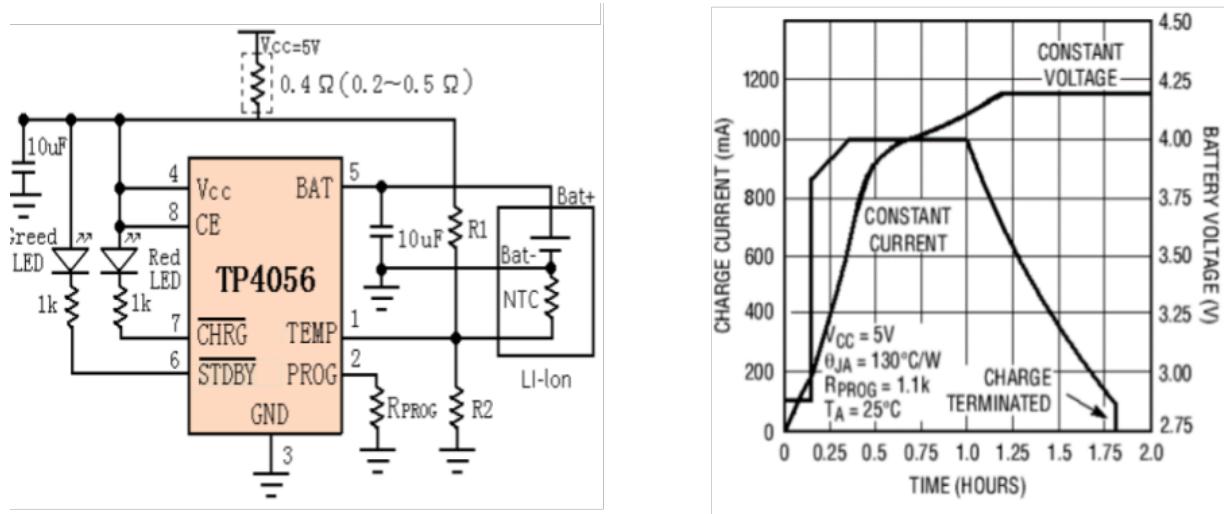


Figura 5: Aplicación típica y ciclo de carga.

No obstante, a diferencia de otros módulos, su conexión a un panel solar no es directa y requiere de cierto acondicionamiento.

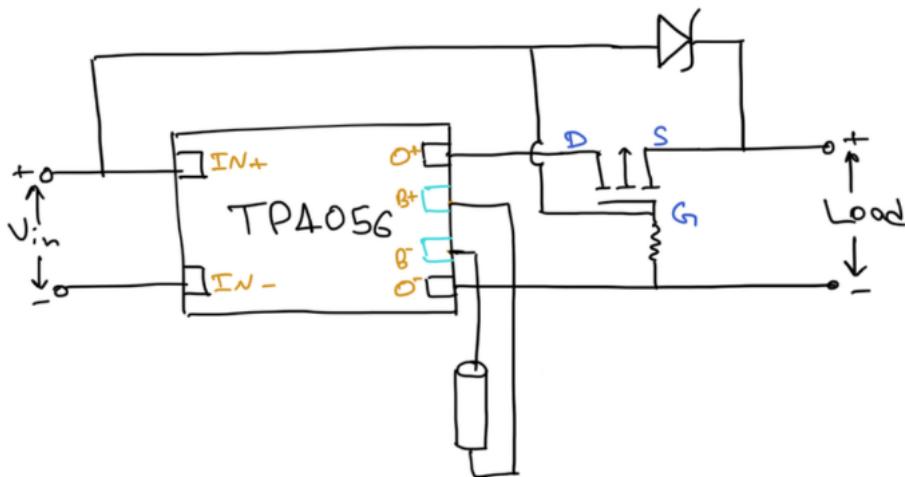


Figura 6: Acondicionamiento para cargar batería mientras se alimenta la siguiente etapa.

El circuito propuesto se conoce como Load Sharing, y requiere tres componentes básicos: un MOSFET de canal P, un diodo Schottky y un resistor pull-down. Mientras exista una fuente de alimentación, el cargador permanecerá desconectado de la carga, permitiendo que la celda se cargue de forma independiente; en el caso contrario, de no haber fuente, el cargador se conecta y la carga drena las baterías.

Cuando el cargador no está conectado, el pin del gate del MOSFET está en estado bajo, por lo que el transistor se encuentra en estado de conducción y la carga se conecta al TP4056. En el caso contrario, cuando el cargador está encendido, la corriente elige el camino de menor resistencia y por tanto el gate del MOSFET estará en estado alto, lo que conlleva al transistor a no conducir y, por tanto, desacoplar la carga del TP4056.

El diodo está para asegurar que la corriente no fluya desde la batería al cargador cuando el MOSFET está encendido.

Si bien es un módulo económico y esta posible solución permite usarlo con un panel solar, es necesario aclarar que no posee función de MPPT. Sería necesario implementarla mediante otro circuito.

También está el limitante de su corriente de carga máxima de 1A, que no llega al 0.5C de una

celda de 7800mAh. Se requeriría posiblemente una modificación del resistor original del módulo, además.

Puede hallarse información más completa acerca del Load Sharing en el documento “Designing A Li-Ion Battery Charger and Load Sharing System With Microchip’s Stand-Alone Li-Ion Battery Charge Management Controller”, de Microchip.

#### 4.3. Solar Charger CN3065

Las baterías de Li-ion requieren de un cargador CCCV (Constant Current Constant Voltage), lo cual significa que, en determinados momentos, el cargador está controlando la salida de corriente a un valor constante, o bien la salida de voltaje.

La carga tiene dos fases, una de corriente constante y otra de voltaje constante. Durante la primera, se regula la corriente a un valor fijo y el voltaje aumenta de a poco a medida que el estado de carga (SoC) aumenta, hasta que se alcanza un determinado voltaje. En ese punto, el cargador empieza a regular el voltaje para mantenerlo en un nivel máximo, mientras que la corriente disminuye en la batería mientras sigue aumentando el SoC.

La corriente constante debe ser configurada de forma de no exceder la corriente máxima de carga de la batería. Si este valor es desconocido y se usa una batería de Li-ion, debe usarse un valor de 0.5C. Por ejemplo, una celda 18650 de 3Ah necesitará una corriente de 1.5A como mucho. Se aconseja no superar el valor de 1C para la carga de baterías de Litio.

El voltaje constante debe ajustarse al mayor voltaje de celda multiplicado por la cantidad de estas en serie. Por ejemplo, para dos celdas de 3.6V (que pueden cargarse hasta 4.2V) en serie, el voltaje constante debe ser de 8.2V.

La mayoría de los cargadores son de tipo bulk. Tienen dos cables (+ y -) para cargar todas las celdas de la batería en serie. Cuando son balanceados, suelen tener varios cables para cargar cada celda de forma individual.

No es recomendable soldar celdas cilíndricas pequeñas. En todo caso, se debe usar el método de welding, con equipamiento especializado. Pero si las baterías no estarán sometidas a vibraciones, un soporte o holder será suficiente.

El cargador provisto fue un Solar Charger V1.0, diseñado por IOTMCU (China) y basado en el IC CN3065.

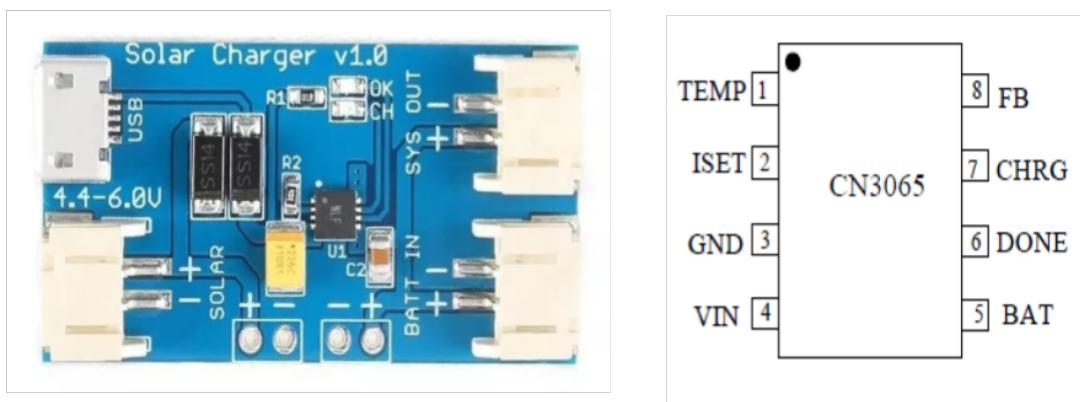


Figura 7: CN3065.

El CN3065 es un cargador de baterías de litio diseñado primariamente para cargar celdas individuales de tipo Li-ion o LiPo. Utiliza un MOSFET canal P interno y basa la carga en el método de Corriente Constante Voltaje Constante, o CCCV. La carga de corriente constante puede configurarse hasta 1000mA mediante un resistor externo. No se requiere de ningún diodo de bloqueo. El chip ADC de 8-bit interno puede ajustar la corriente de carga automáticamente basándose en la capacidad

de salida de la fuente de poder de entrada, lo que hace al CN3065 ideal para sistemas con paneles solares, o aplicaciones que requieran cargar baterías de Li-ion o LiPo con una fuente de poder de capacidad limitada. Las salidas de drenador abierto y indican el estado del cargador. El circuito interno de regulación térmica reduce la corriente de carga programada si la temperatura intenta elevarse por encima de aproximadamente 115°C, para proteger al integrado.

El ciclo de carga se inicia cuando el voltaje en el pin VIN supera nivel UVLO (Undervoltage Lockout). El pin se pone en nivel bajo para indicar que la carga se está llevando a cabo. Al inicio del ciclo de carga, si el voltaje en el puerto FB está por debajo de 3V, el cargador se pone en modo precarga para llevar el voltaje de la celda a un nivel seguro para su carga. El cargador entra en modo de carga rápida con corriente constante una vez que el voltaje en FB supera los 3V. En este modo, la corriente de carga está establecida por RISET. Cuando la batería se aproxima al voltaje de regulación, la corriente de carga comienza a disminuir a medida que el CN3065 entra en el modo de voltaje constante. Cuando la corriente cae hasta el umbral de finalización, el ciclo de carga se termina, se pone en bajo y asume un estado de alta impedancia para indicar que el ciclo finalizó. El umbral de finalización de carga es 10 % del valor de la corriente en el modo de corriente constante. Para reiniciar el ciclo de carga, se puede quitar el voltaje de entrada y aplicarlo de nuevo. También puede reiniciarse de forma automática si el voltaje en el pin FB cae por debajo del umbral de recarga.

Cuando no hay voltaje presente, el cargador entra en estado sleep, minimizando el drenado de corriente de la batería a menos de 3uA, lo cual incrementa el tiempo de standby.

El perfil de carga es el siguiente:

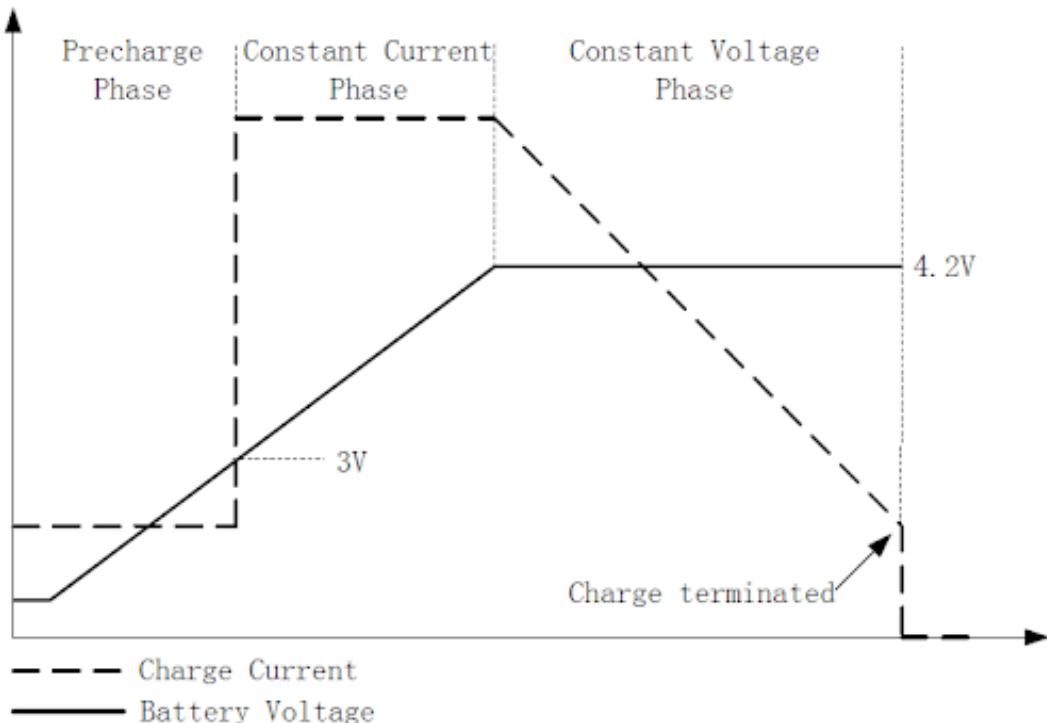


Figura 8: .

La tabla de características eléctricas del CN3065 indica que soporta voltajes de entrada VIN desde 4.4V hasta 6V como máximo, y corrientes operativas desde 400uA hasta 950uA, con un valor típico de 650uA.

Una característica interesante del CN3065 es que, aunque principalmente pensado para usar con paneles solares, también permite la carga mediante un adaptador de pared o USB. La hoja de datos muestra un ejemplo de cómo implementar el sistema (pp. 9).

Las imágenes siguientes muestran la aplicación típica del CN3065 para una entrada de voltaje variable entre 4.4V y 6V, como podría ser un panel solar; y un esquemático del módulo provisto,

extraído de internet.

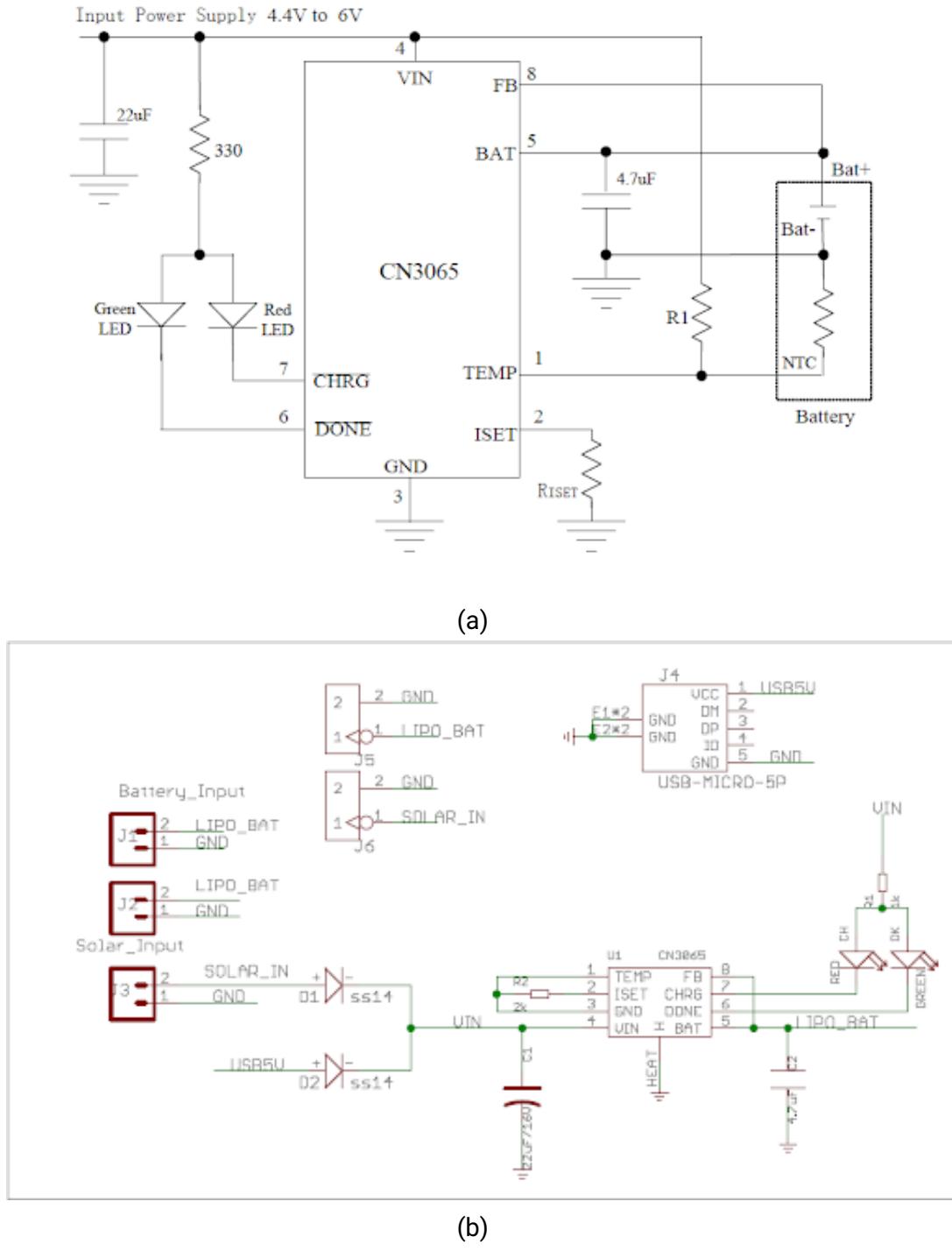


Figura 9

El módulo chino provisto, de acuerdo con descripciones obtenidas de internet, está configurado para entregar una corriente de carga máxima de 500mA.

CHEQUEAR SI SE SIGUIÓ EL EJEMPLO DE LA PP.6 PARA COMBINAR LAS FUENTE DE VOLTAJE DE ENTRADA.

#### 4.4. Solar Charger CN3791

El CN3791 es un controlador para cargadores de baterías de Li-ion, de corriente constante y voltaje constante, que puede ser usado con paneles solares ya que posee la función de MPPT

(Maximum Power Point Tracking). La corriente de carga puede configurarse mediante un resistor de censado de corriente externo, RCS, ubicado entre los pines CSP y BAT. El voltaje de regulación final, en el modo de voltaje constante, está programada a 4.2V con una exactitud de  $\pm 1\%$ .

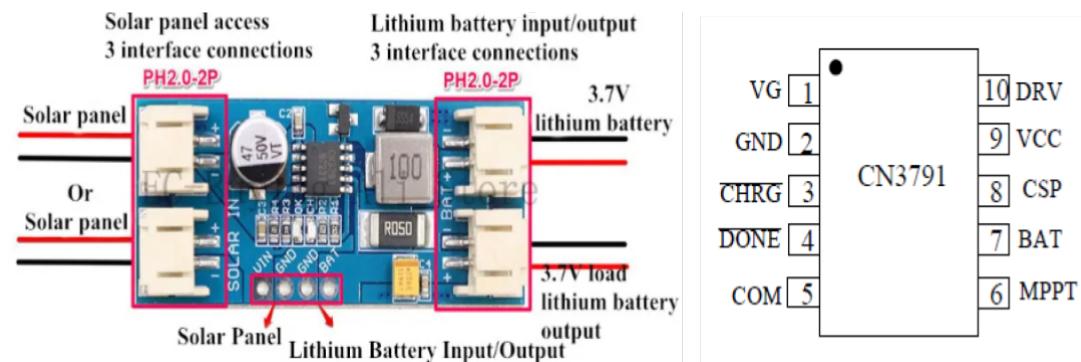


Figura 10: CN3791.

Un ciclo de carga comienza cuando el voltaje en el pin VCC se eleva por encima de VUVLO y del voltaje de la batería, por VSLPR, y el voltaje en el pin de MPPT es mayor a 1.23V. Si, al comienzo del ciclo, el voltaje de la batería es menor que el 66.5 % del voltaje de regulación (VREG), el cargador entra en modo de carga por goteo; la corriente de carga por goteo está internamente seteada al 17.5 % de la corriente a escala completa. Cuando la batería excede ese 66.5 %, el cargador entra en modo carga de corriente constante, donde la misma está configurada por la resistencia de censado RCS y una referencia interna de 120mV; por lo que la corriente de carga está configurada de acuerdo con la ecuación 120mV/RCS.

Cuando la batería se acerca al voltaje de regulación final, el controlador entra en modo de voltaje constante, y la corriente comienza a decaer hasta alcanzar el 16 % de su valor máximo. En ese punto, la carga se da por finalizada.

El ciclo de carga se reiniciará si el voltaje de la batería cae por debajo del umbral de voltaje de recarga, que es del 95.5 % del valor del voltaje de regulación.

Cuando el voltaje de entrada no está presente, el cargador entra automáticamente en modo de sueño, y todos los circuitos internos se apagan.

El siguiente esquema muestra las etapas del ciclo de carga.

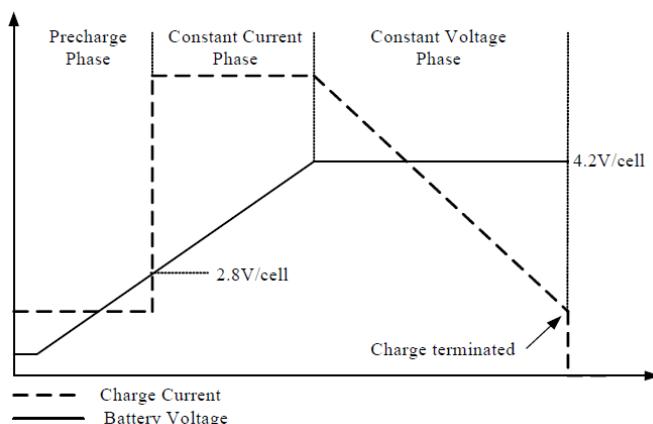


Figura 11: .

Las imágenes siguientes ilustran implementaciones típicas del circuito, que no necesariamente debe coincidir con la de los módulos disponibles en el mercado.

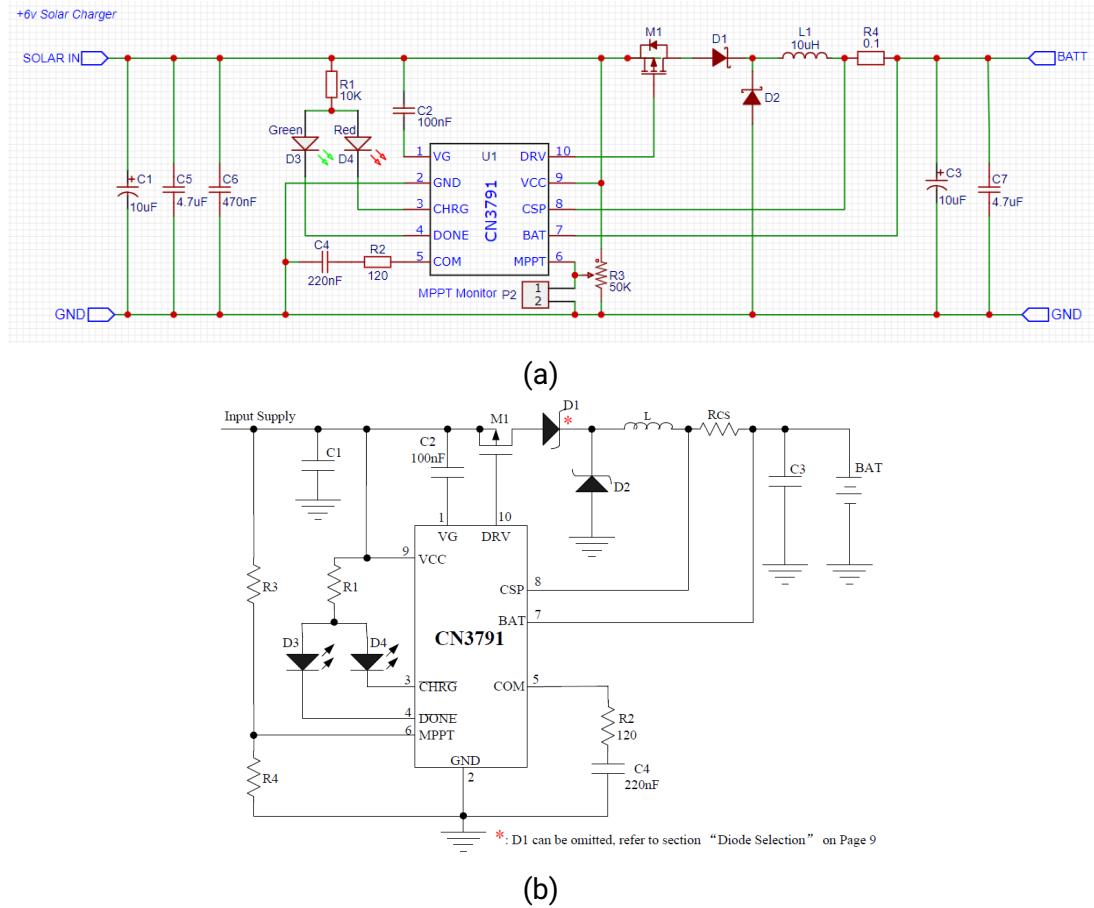


Figura 12

Entre las características del cargador que se encuentran en la hoja de datos, se pueden listar las siguientes:

- MPPT.
  - Gran amplitud de voltaje de entrada: 4.5V a 28V.
  - Es un controlador completo para cargadores de una sola celda de baterías Li-ion.
  - Corriente de carga de hasta 4A.
  - Voltaje constante de  $4.2V \pm 1$
  - Configuración de la corriente de carga mediante un resistor de censado de corriente.
  - Acondicionamiento automático para baterías descargadas.
  - Recarga automática.
  - Indicación de estado de carga.
  - Protección de sobrevoltaje para batería.
  - Temperatura operativa entre -40°C y +85°C.
  - Disponibilidad en paquete SSOP de 10 pines.
  - Libre de plomo y de halógeno.

La característica más llamativa es la capacidad de entregar hasta 4A de corriente de carga, que permitiría cargar una batería de 7800mAh a un ritmo de 0.5C, dadas las condiciones óptimas. Posiblemente requeriría una modificación del PCB a fin de reemplazar la resistencia de censado de corriente por una que permita alcanzar el valor deseado. Lamentablemente, eso quizás conlleve problemas respecto a las pistas de PCB, que quizás no estén listas para tales amperios. De acuerdo con la ecuación de la hoja de datos, la resistencia debería tener un valor aproximado de:

$$R_{CS} = \frac{120 \text{ mV}}{3600 \text{ mA}} = 0,033 \Omega \quad (1)$$

Video demostración YouTube (ruso)<sup>1</sup>

Video demostración YouTube CN3722<sup>2</sup>

Video de la conexión del CN3791<sup>3</sup>

Video con CN3795 (hace su propio PCB)<sup>4</sup>

## 4.5. Solar Charger: CN3065 vs CN3791

A continuación se puede observar un cuadro comparativo entre los Solar Charger vistos anteriormente. Se puede observar la superioridad del CN3791 al ver la corriente que suministra, lo cual significa una carga más rápida, pero con un costo más elevado.

<b>Parámetros</b>	CN3065			CN3791			<b>Unidad</b>
	<b>Mínimo</b>	<b>Típico</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Típico</b>	<b>Máximo</b>	
Voltaje de entrada	4.4		6	4.5		28	V
Corriente de funcionamiento	0.4	0.65	0.9	0.7	1.0	1.3	mA
Corriente de carga		0.5	1		2	4	A
Temperatura operacional	-40		85	-40		85	°C
Precio	8.3 <sup>5</sup>	9 <sup>6</sup>	16 <sup>7</sup>		16 <sup>8</sup>		USD

Cuadro 9: Comparación entre los cargadores solares CN3065 y CN3791.

## 4.6. Voltage Booster

Este componente se encarga de elevar el voltaje de entrada a uno deseado, por lo general se suele regular mediante un trimmer el cual esta incorporado al componente.

Nos sirve como alternativa al no usar 2 celdas en serie para llegar a los 5V.

Se usaría en la etapa final del cargador la cual conecta al dispositivo LoRa.

<sup>1</sup>[https://www.youtube.com/watch?v=HmbwdlNv5fo&ab\\_channel=arduinoLab](https://www.youtube.com/watch?v=HmbwdlNv5fo&ab_channel=arduinoLab)

<sup>2</sup>[https://www.youtube.com/watch?v=liYZ5pY0ZDE&ab\\_channel=AdamWelch](https://www.youtube.com/watch?v=liYZ5pY0ZDE&ab_channel=AdamWelch)

<sup>3</sup>[https://www.youtube.com/watch?v=fq-0E14beiQ&ab\\_channel=FreeWeb%26MobileApps](https://www.youtube.com/watch?v=fq-0E14beiQ&ab_channel=FreeWeb%26MobileApps)

<sup>4</sup>[https://www.youtube.com/watch?v=H8DodoxBgBU&ab\\_channel=MundoElectr%C3%B3nica](https://www.youtube.com/watch?v=H8DodoxBgBU&ab_channel=MundoElectr%C3%B3nica)

Nombre	Marca	Precio (USD)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Eficiencia (%)
Boost USB cargador <sup>9</sup>	PCBready	3.8	0.9-5		5	0.6	96
Boost USB cargador (x2) <sup>10</sup>	PCBready	7	0.9-5		5	0.6	96
Mt3608 <sup>11</sup>	Duaitek	2.3	2-24		2-28	2	93
STEPUP-S35B-28V2A <sup>12</sup>	TodoMicro	3.1	2-5		2-28	2	93
Mt3608 <sup>13</sup>	TecnoliveUSA	3.3	2-24		2-28	2	93
SX1308 Boost Step-Up <sup>14</sup>	HobbyTronica	4.3	2-24		5-28	2	95
MT3608 Boost Step-Up <sup>15</sup>	HobbyTronica	4.8	2-24		5-28	2	93
XL6009 Step-Up Booster <sup>16</sup>	HobbyTronica	6.3	3-32	4	5-35	3	94
Step Up LM2587 <sup>17</sup>	HobbyTronica	16.6	3-30	5	4-30	3	92

Cuadro 10: Elevadores de Voltaje - Mercado Libre.

Este componente nos servirá debido a que:

- Las batería de litio-ion pueden reducir su tensión por debajo de los 3.2V, no pudiendo alimentar la siguiente etapa. Esto nos podría servir para mantener la vida de las baterías durante más tiempo. Esto está en duda, debido a que cuando las baterías estén por debajo de este voltaje, posiblemente ya no les de la corriente necesaria para alimentar la siguiente etapa, que consume en promedio entre 218 y 425mA. Por esto es posible que el step-up no sea necesario.
- Antes de la siguiente etapa, existe un regulador de tensión planteado en la tesis "Estación base LoRa para sistemas de alambrado virtual". Este consiste en un step-down que reduce la tensión a 3.2V. Analizándolo nos encontramos con un problema que consiste en que, para reducir la tensión a 3.2V, es necesario un voltaje de entrada mínimo de 4.75V. Esto provoca que la tensión de entrada por debajo a este umbral nunca llegara a 3.2V a la salida del step-down y en consecuencia, no pudiendo abastecer con el voltaje requerido a la siguiente etapa. También se analizaron otros step-down pero todos tienen el mismo problema. Para solucionar este problema, es necesario colocar como mínimo un step-up a la entrada del step-down para aumentar la tensión a 4.75V. También se pensó en aumentar la tensión a 6V, 12V o 18V que son los valores máximos que proveen los paneles solares.
- Como se verá más adelante, se propone utilizar un circuito de histeresis (su función y desarrollo se verá más adelante), que para su implementación, es necesario tener alguna tensión constante. Para ello se podría utilizar el step-up configurado para los valores máximos de tensión que proveen los paneles solares normalmente (configurándolo dependiendo de que tipo de tensión máxima tenga el panel que se este utilizando). También como alternativa se podría utilizar la tensión que provee el step-down de 3.3V.

## 5. Circuitos adicionales

En esta sección veremos los circuitos adicionales que pueden ser incorporados al cargador de batería, estos sirven para darle una mejor funcionalidad al cargador.

### 5.1. Load-Sharing (carga compartida)

Este circuito sirve para el intercambio de alimentación entre dos fuentes, siendo que pasa la alimentación que tenga mayor voltaje que la otra. Por ejemplo, la alimentación que esta conectada

al Gate y, mediante un diodo, al Source del MOSFET ( $V_{panel}$ ), debe de ser mayor a la alimentación conectada al Drain ( $V_{bat}$ ) para usar la primera.

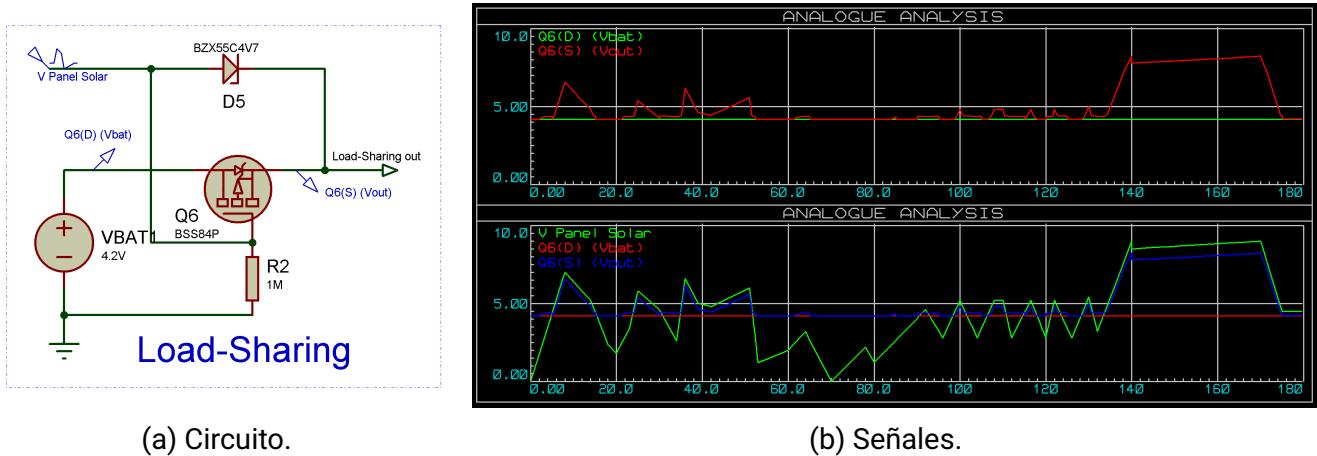


Figura 13: Circuito típico de load-sharing.

El diodo sirve para proteger al panel contra polarizaciones y para anular la resta de tensión provocado por el diodo que está en el MOSFET hacia la batería. Mediante las siguientes ecuaciones se puede obtener como va a ser la tensión de salida  $V_{out}$  dependiendo que alimentación es mayor.

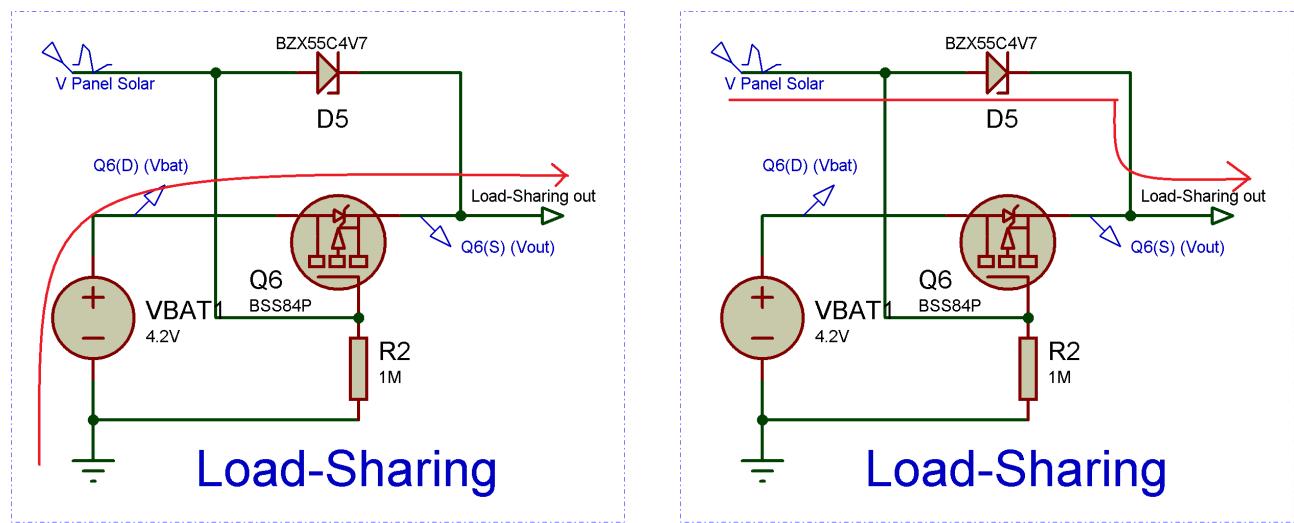


Figura 14: Flujo de energía.

- Para  $V_{bat} > V_{panel}$ :

$$V_S = V_{panel} - V_{D1}$$

$$V_D = V_{bat} - V_{DS}$$

$$V_G = V_{panel}$$

$$V_{GS} \sim V_{bat}$$

$$V_{out} = V_{bat}$$

- Para  $V_{panel} > V_{bat}$ :

$$V_{GS} \sim 0V \therefore \text{MOSFET no polarizado}$$

$$V_S \sim V_G$$

$$V_{out} = V_{panel} - V_{D1}$$

Por lo tanto llegamos a que  $V_s = V_{panel} - V_D$ , mientras que  $V_{bat} < V_{panel} - V_{D1} + V_{DS}$ .

Para que la energía pase por el diodo del MOSFET necesitamos que  $V_{bat} > V_{DS} + V_{panel} - V_{D1}$

Por lo que, si  $V_{panel} > V_{D1}$ , sino  $V_{bat} > V_{DS}$

Por último veremos que necesitamos para usar  $V_{bat}$  o  $V_{panel}$ .

- Para usar la batería:

$$V_D > V_S$$

$$V_{bat} > V_{DS} \quad \text{si} \quad V_{panel} < V_{D1}$$

$$V_{bat} > V_{DS} + V_{panel} - V_{D1} \quad \text{si} \quad V_{panel} > V_{D1}$$

- Para usar el panel solar:

$$V_G > V_S$$

$$V_{panel} > V_{D1} \quad \text{si} \quad V_{bat} < V_{DS}$$

$$V_{panel} > V_{D1} + V_{bat} - V_{DS} \quad \text{si} \quad V_{bat} > V_{DS}$$

## 5.2. Switching (intercambio de fuentes)

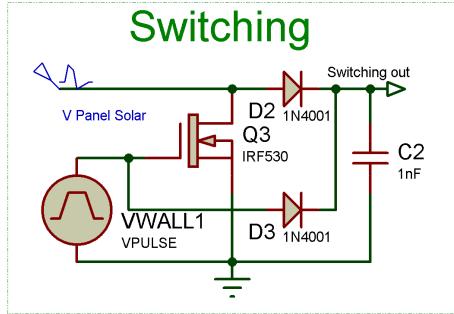
Es un circuito utilizado para el intercambio de alimentaciones, dándole prioridad a la alimentación que estará conectada al Gate ( $V_{wall}$ ) por encima a la que estará conectada al Drain ( $V_{panel}$ ).

Cuando no haya energía por  $V_{wall}$ , el MOSFET estará en corte, por lo cual no estará funcionando y pasara la energía de  $V_{panel}$  por el diodo de arriba.

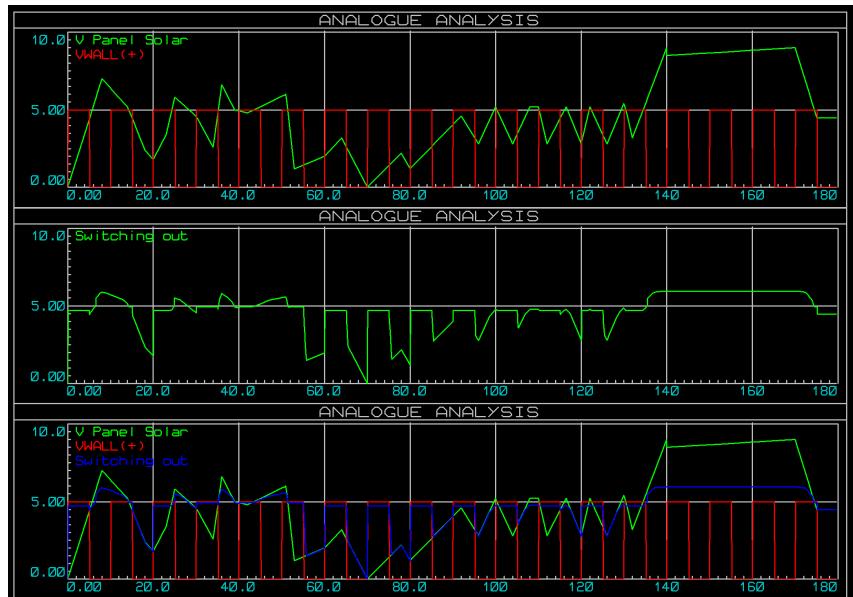
Cuando haya energía por  $V_{wall}$ , el MOSFET entrara en zona ohmica y estará funcionando y direccionara la energía de  $V_{panel}$  hacia tierra y la energía de  $V_{wall}$  pasara por el diodo de abajo.

Consiste en:

- Un MOSFET tipo N.
- Dos diodos.
- Un capacitor.



(a) Circuito.



(b) Señales.

Figura 15: Circuito típico de switching.

### 5.3. Histeresis

Este no consiste en un circuito en si, sino en un concepto que hay que diseñarlo.

Se basa en crear una región la cual el valor de la señal de entrada no tenga efecto en la de salida, manteniéndola en su estado hasta que la señal de entrada salga de esta región por el sitio que genere un cambio en la señal de salida.

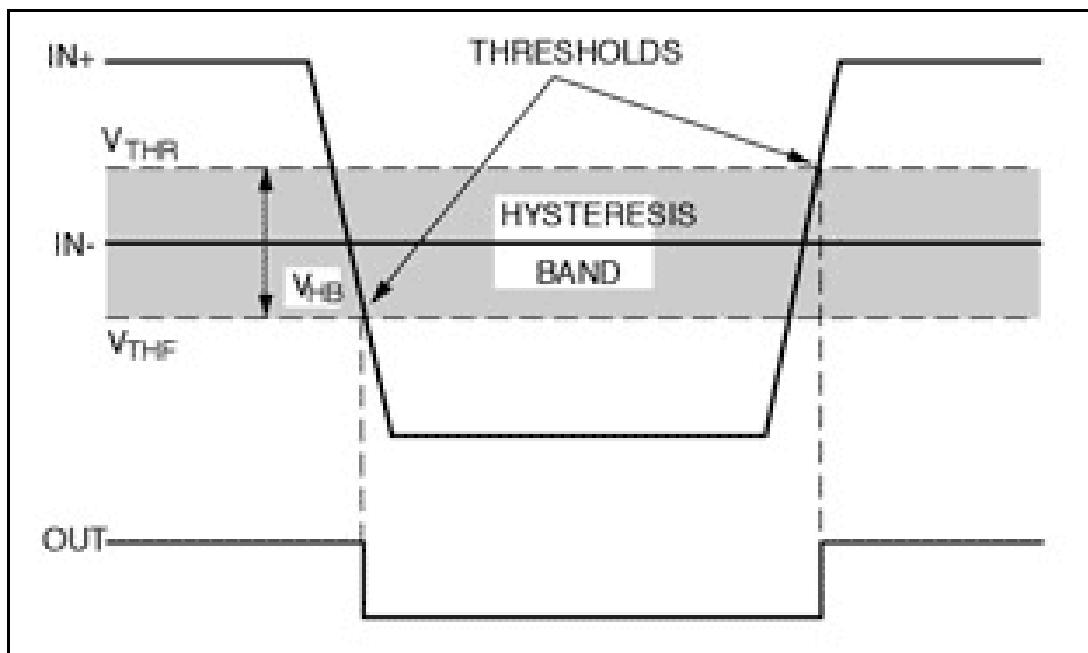


Figura 16: Barrera digital rodeada por banda de histéresis - IDE Electrónica.

## 6. Diseños final propuesto

A continuación se verán dos diseños propuestos para el cargador de baterías siendo la versión 2.5 y la versión 1.3. Para ver los demás circuitos propuestos se recomienda leer el documento

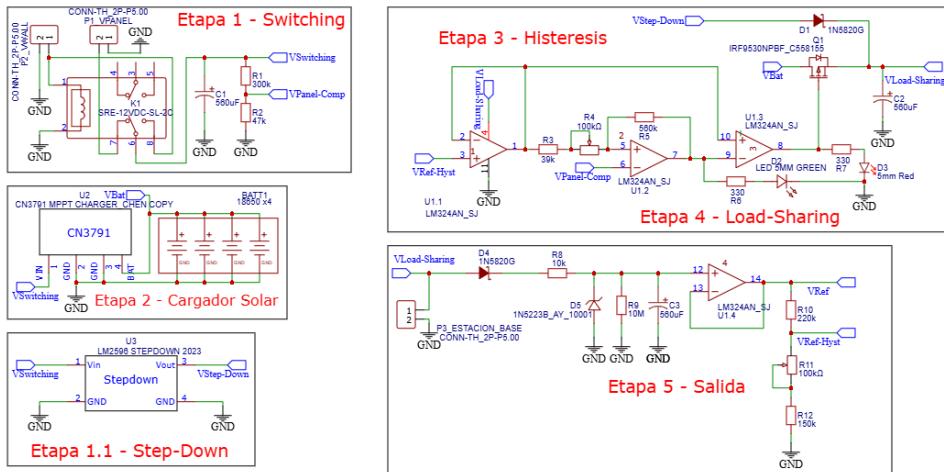
llamado: 2 - Historial de diseños del cargador.

(Aclaración: Varios de los valores de los componentes pueden que no estén en los valores correctos, en especial la resistencias. Debido a las modificaciones que se van produciendo por las limitaciones de software, comportamiento del panel solar y aplicación en físico. Por ello pueden haber diferencias en los valores visto en la practica (Easy-EDA) y los calculados de forma analítica o mediante simulación (Proteus). Cabe destacar que son solo los valores, los componentes y sus respectivas disposiciones están completamente confirmadas).

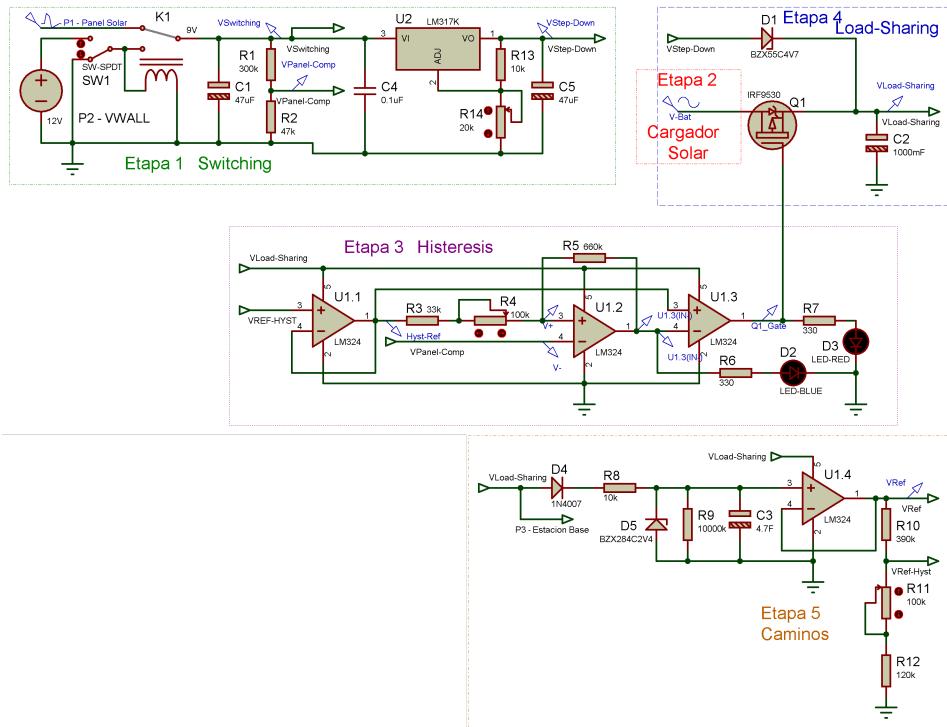
## 6.1. Versión 2.5

El circuito del cargador consiste en 5 etapas:

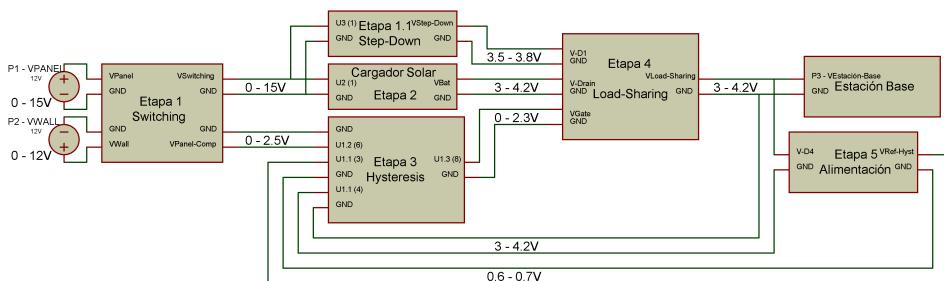
- **Etapa 1 - Switching:** Cambia entre la alimentación que provee el panel solar y la que provee una conexión de pared, produciéndose una señal llamada  $V_{Switching}$ . Además, se le conecta un step-down que reducirá su voltaje entre 3.3 y 3.8V, produciendo el voltaje llamado  $V_{Step-Down}$ .
- **Etapa 2 - Cargador Solar:** Consiste en el cargador solar utilizado y sus respectivas baterías, en nuestro caso, el CN3791 y sus respectivas baterías de litio-ion en paralelo. Produciendo el voltaje llamado  $V_{Bat}$ . Además que se usará  $V_{Switching}$  para cargar las baterías.
- **Etapa 3 - Histeresis:** Es el encargado de encender o apagar el gate del transistor de la etapa 4. Se crean 2 voltajes umbrales que cambiarán el suministro de energía para la estación base de entre  $V_{Step-Down}$  y  $V_{Bat}$ .
- **Etapa 4 - Load-Sharing:** Cambia de alimentación que suministra la energía para la estación base de entre  $V_{Step-Down}$  y  $V_{Bat}$ , produciendo un voltaje llamado  $V_{Load-Sharing}$ .
- **Etapa 5 - Salida (Alimentación):** Generará un voltaje fijo proveniente de  $V_{Load-Sharing}$ , el cuál se usará para comparar en la Etapa 3.



(a) Esquemático (Easy-EDA).



(b) Esquemático (Proteus).



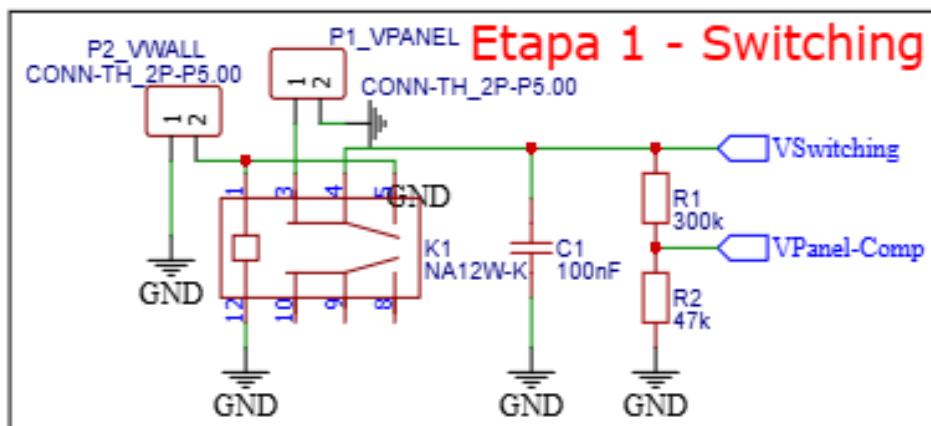
(c) Diagrama de bloques (Proteus).

Figura 17: Cargador V2.5

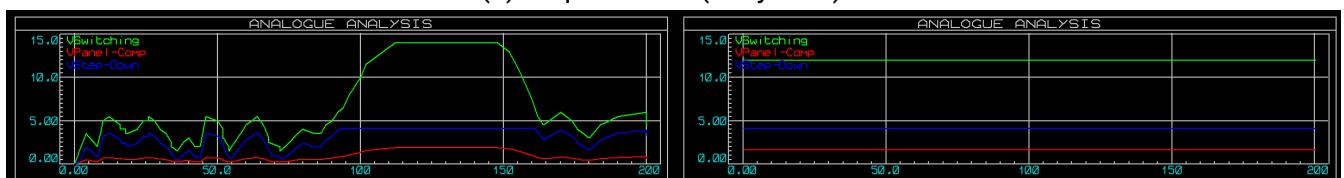
### 6.1.1. Etapa 1 - Switching

Esta es la etapa de entrada del cargador, la cual alimentara al cargador solar (CN3791) y al step-down de la etapa 3. Funciona con dos entradas, siendo la del panel solar ( $P_1$ ), llamada desde ahora  $V_{Panel}$  y un voltaje provisto desde la pared ( $P_2$ ), llamada desde ahora  $V_{Wall}$ . Como dice su nombre, consiste en cambiar la fuente de alimentación entre las antes mencionadas, teniendo esta última la prioridad. Cuando se conecte  $V_{Wall}$ , cambiará la entrada del relé  $K_1$ , sustituyendo a  $V_{Panel}$ . También se coloca un capacitor ( $C_1$ ), el cuál nos servirá para sostener el voltaje cuando se produzcan los cambios de alimentación.

Además contiene un divisor de voltaje, llamado  $V_{Panel-Comp}$ , el cuál tiene la función de reducir de 18V a 2.5V. Esto debido a que este voltaje se usara como comparación en otras etapas, la cual debe reducir el valor máximo del switching, llamado desde ahora  $V_{Switching}$  (siendo este el voltaje máximo del panel solar) a ese valor como tope. Siendo así, ya que los OpAmps que usaremos para comparar, serán alimentados desde la salida del cargador, la cuál variara entre 3 y 4.2V. Se utiliza 2.5V y no otro voltaje, debido a que nuestros OpAmps comienza a comparar a partir de 500mV por debajo del voltaje de alimentación de estos, por lo que tomando el valor mínimo de 3V sería 2.5V.  $V_{Switching}$  estará conectado a un step-down (LM2596) el cuál reducirá el voltaje entre 3.3 y 3.8V, produciendo el voltaje  $V_{Load-Sharing}$ .



(a) Esquemático (Easy-EDA).



(b) Gráficos (Proteus).Izquierda: VPanel. Derecha: VWall.

Figura 18: Etapa 1.

### 6.1.2. Etapa 2 - Cargador Solar

Esta etapa solo consiste en el CN3791 o algún otro cargador solar que usemos junto a la batería, siendo en nuestro caso las baterías de litio-ión.

Se alimentara mediante  $V_{Switching}$  y su salida estará conectada al drain del MOSFET de la etapa de Load-Sharing.

Su propósito es de cargar las baterías y el de alimentar a la estación base mientras la energía de  $V_{Switching}$  no sea capaz de alimentar a esta. La alimentación sera proporcionada por las baterías, las cuales llamaremos  $V_{Bat}$ .

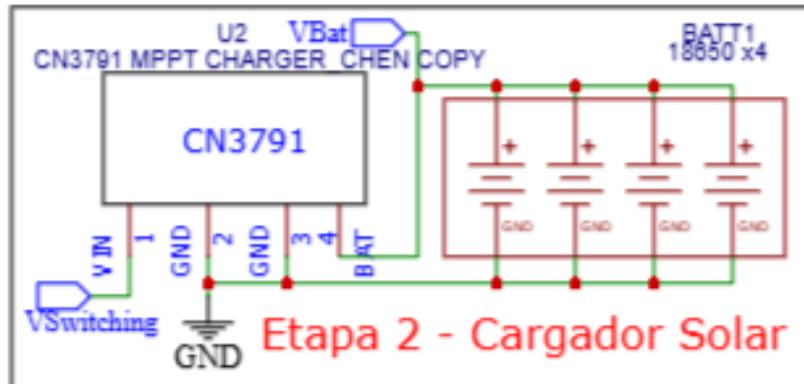


Figura 19: Etapa 2.

### 6.1.3. Etapa 3 - Histeresis

Esta etapa consiste en elegir dos voltajes umbrales que nos servirán para activar o no, el gate del MOSFET de la etapa de Load-Sharing. Cuya función del gate es la de dejar pasar a  $V_{Switching}$  sobre  $V_{Bat}$ .

Su implementación nos evitara cambios constantes entre  $V_{Switching}$  y  $V_{Bat}$  debido a las oscilaciones del primero. Esta etapa es realmente beneficiosa para paneles de 6V, en nuestro caso, nos servirá para el amanecer y anochecer, además de seleccionar a conveniencia en que voltaje se cambiara de alimentación.

El primer OpAmp ( $U_{1,1}$ ) está en configuración de buffer, siendo así, para separar la tensión que usaremos como uno de los voltajes de referencia. Este voltaje de referencia será el inferior, el cual llamaremos  $V_{Ref-}$  cuyo valor será de aproximadamente de 4V. La idea es que cuando  $V_{Switching}$  sea menor a este valor, el gate se apague y deje pasar el voltaje de  $V_{Bat}$ . Este voltaje proviene de un divisor de tensión que reduce el voltaje de un step-down, llamado  $V_{Ref}$ , de 1.2V a 0.416V, esto debido a que nuestro nuevo voltaje tope es 2.5V.

El segundo OpAmp ( $U_{1,2}$ ) es el que está en configuración de disparador Schmitt. Esta configuración es como un comparador normal, con la señal que se quiere comparar, siendo  $V_{Panel-Comp}$  por la pata  $V_-$ . Pero lo que cambia es que hay una realimentación en la pata  $V_+$ , que esta conectada a la salida del buffer antes mencionado. Esta realimentación está dada por un divisor de tensión el cual sumara o restara un voltaje al suministrado por el buffer. El cuál será suma o resta si el comparador tiene como salida un 1 lógico, siendo la suma, o un 0 lógico, siendo la resta.

Como el OpAmp esta alimentado a tierra, no se le restara nada, quedando como resultado el voltaje del buffer cuando a la salida del OpAmp hay un 0 lógico. En caso de un 1 lógico como salida del OpAmp, se le sumaran 0.27V, esto siendo así para llegar a 0.694V y establecer aproximadamente 5V como umbral alto ( $V_{Ref+}$ ). Por lo cual, se activara el gate y por lo tanto, se cambiara la alimentación de  $V_{Bat}$  a  $V_{Switching}$  a partir de los 5V.

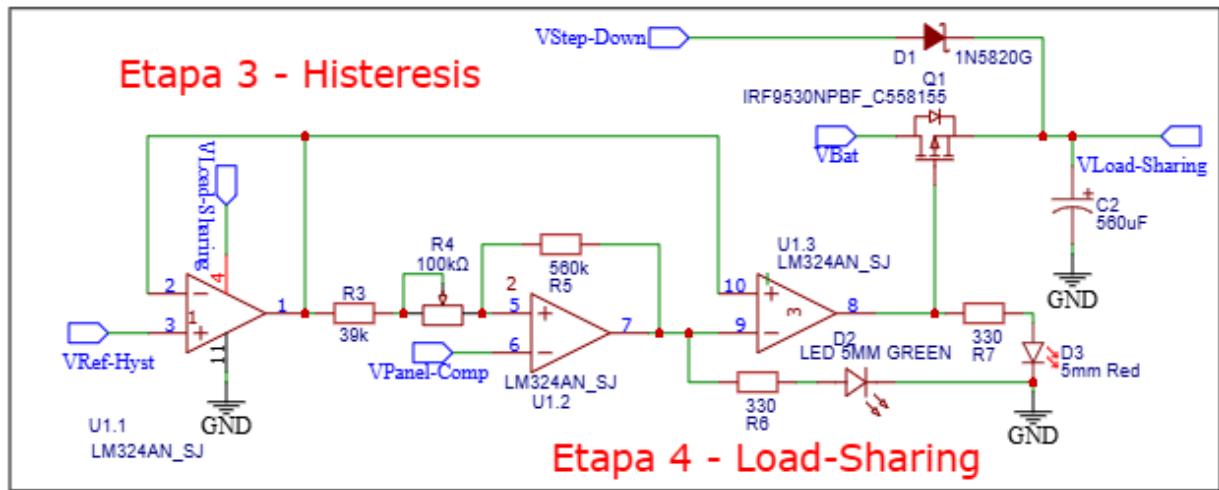
$$V_{Buffer} = \frac{V_{Ref}R_1}{R_1 + R_2} \sim 0,416V$$

$$V_{Ref-} = V_{Buffer} + \frac{V_{OpAmp-Alto}R_2}{R_1 + R_2} = 0,416V + 0,27V \sim 0,694V$$

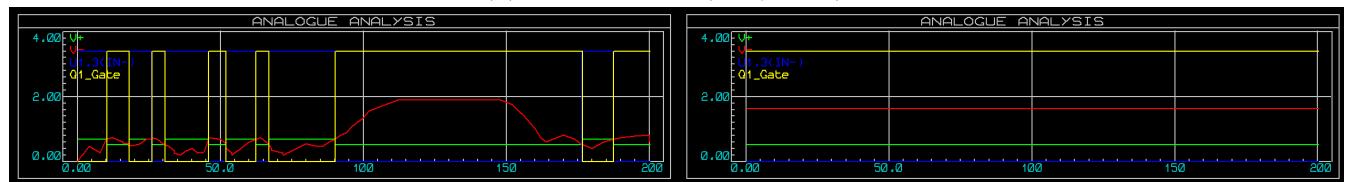
$$V_{Ref+} = V_{Buffer} - \frac{V_{OpAmp-Bajo}R_2}{R_1 + R_2} = 0,416V - 0 = 0,416V$$

Queda mencionar que la salida del OpAmp queda de forma inversa para el funcionamiento del gate del Load-Sharing. Por eso, se agrega un tercer OpAmp ( $U_{1,3}$ ) en configuración de comparador, el cual comparará la salida del OpAmp  $U_{1,2}$  con un voltaje fijo que tenga un valor mayor a 0 pero menor al voltaje del OpAmp  $U_{1,2}$  cuando tenga una salida lógica alta. Por lo cual, cuando el OpAmp  $U_{1,2}$  tenga una salida baja, este tendrá una alta y si tiene una alta, este será una baja y así invirtiendo la salida. La salida de este comparador irá al gate del transistor del load-sharing.

Además, irán dos diodos que funcionarán como indicadores. El diodo  $D_2$  estará conectado a la salida del OpAmp  $U_{1,2}$ , al encenderse indicará que la estación base esta siendo alimentada mediante  $V_{Bat}$ . Para el diodo  $D_3$ , estará conectado a la salida del OpAmp  $U_{1,3}$ , al encenderse nos indicara que la estación base esta siendo alimentada mediante  $V_{Switching}$ .



(a) Esquemático (Easy-EDA).



(b) Gráficos (Proteus). Izquierda:  $V_{Panel}$ . Derecha:  $V_{Wall}$ .

Figura 20: Etapa 3.

#### 6.1.4. Etapa 4 - Load-Sharing

Este circuito nos servirá para cambiar la alimentación de la estación base entre  $V_{Bat}$  y  $V_{Step-Down}$ . Su cambio de alimentación estará establecido por la Etapa 3. La salida de esta etapa estará conectada a la etapa de Caminos.

Sin la Etapa 3, el load-sharing cambia la alimentación cuando el voltaje de  $V_{Step-Down}$  es mayor al voltaje de  $V_{Bat}$ .

Además, esta etapa contiene un capacitor ( $C_2$ ), el cuál nos servirá para sostener el voltaje cuando se produzcan los cambios de alimentación.

A continuación se mostrarán las condiciones para que la estación base sea alimentado ya sea por  $V_{Step-Down}$  o  $V_{Bat}$ :

- Para  $V_{Step-Down}$ :  $V_{Step-Down} > V_{Bat}$  y  $V_{gate} \rightarrow \text{ON}$ .
- Para  $V_{bat}$ : caso contrario.

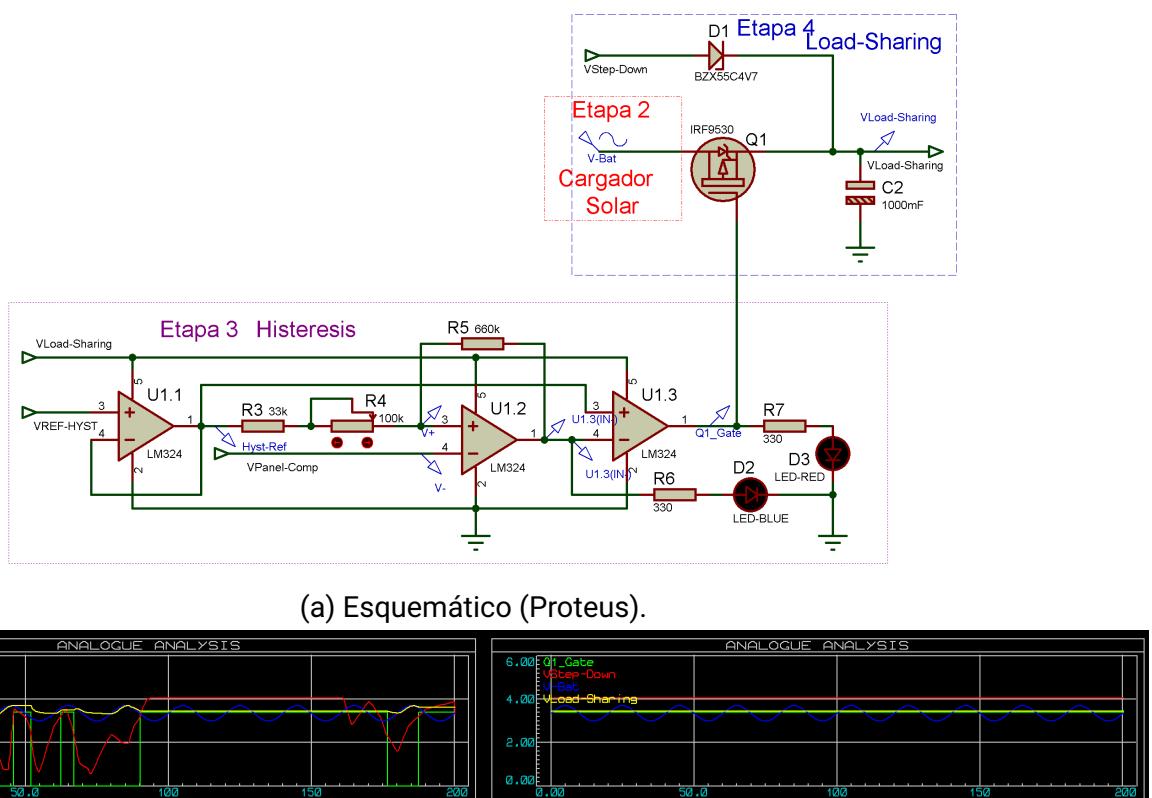
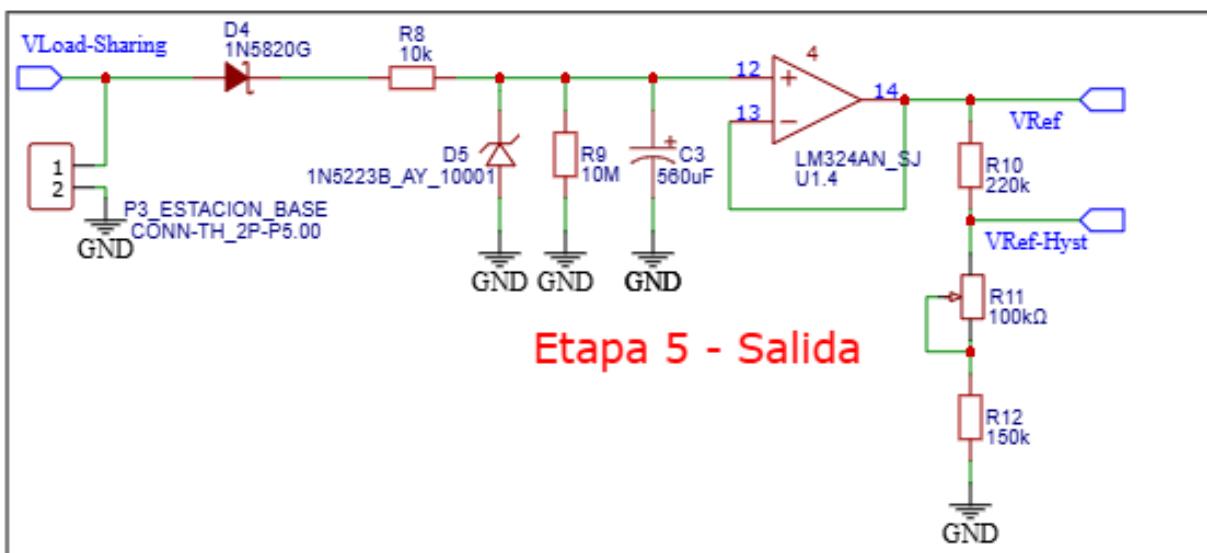


Figura 21: Etapa 4.

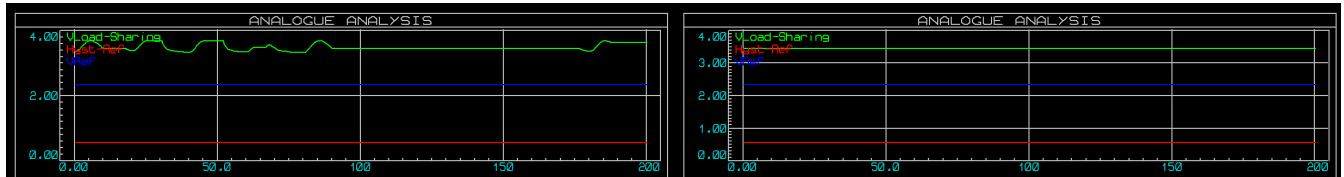
### 6.1.5. Etapa 5 - Salida (Alimentación)

Esta es la ultima etapa, además de alimentar a la estación base ( $P_3$ ), alimentará un step-down que reduce a 1.2V el voltaje proveniente del load-sharing, cuyo voltaje resultante es llamado  $V_{Ref}$ . Este step-down funciona con un diodo de 2.7V ( $D_5$ ) y dos resistencias  $R_7$  y  $R_8$ , además se le agrega un capacitor ( $C_3$ ) para mantener el voltaje ya que oscila entre 1.28 y 1.32V. Este cambio de voltaje parece poco pero resulta significativo para el divisor de tensión que le sigue, el cuál nos servirá para comparar en la etapa 3, llamado  $V_{Ref-Hysteresis}$ .

Se agrego un trimmer de  $100\text{k}\Omega$  para variar este divisor de tensión, ya que en la realidad, queda ver cual es el voltaje de referencia ideal para el panel solar que usemos.



(a) Esquemático (Easy-EDA).



(b) Gráficos (Proteus).Izquierda: VPanel. Derecha: VWall.

Figura 22: Etapa 5.

## 6.2. Versión 1.3

Este circuito es igual al propuesto en la versión 2.5 pero sin la Etapa 3 de histeresis y la Etapa 5 de salida (alimentación).

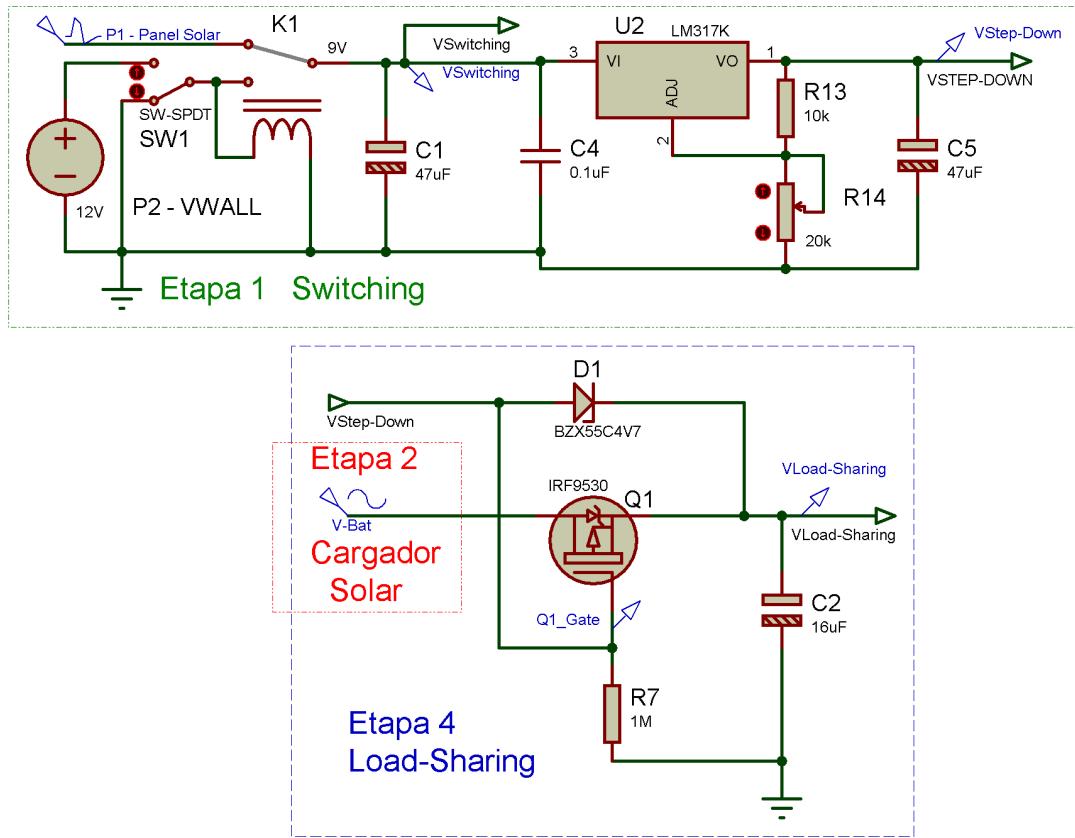
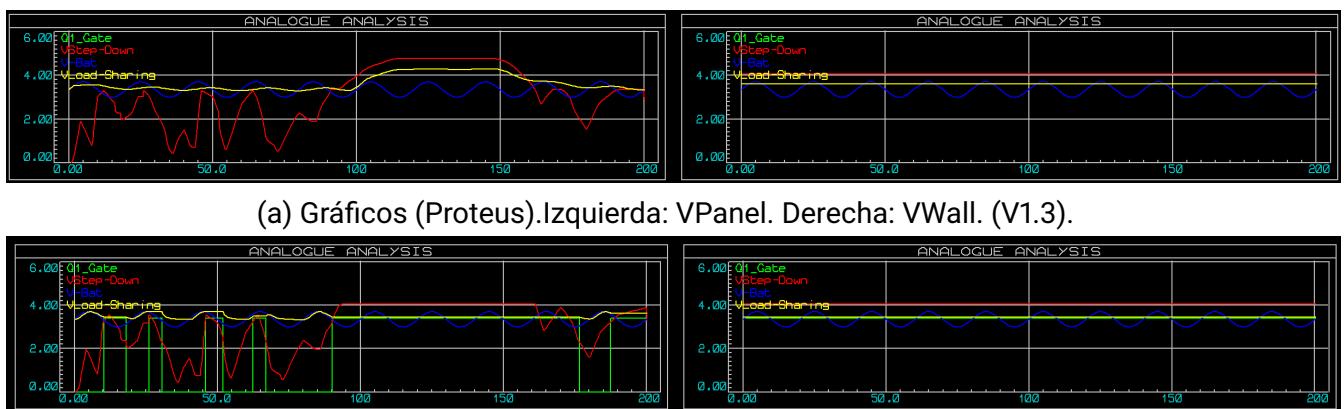


Figura 23: Versión 1.3

## 6.3. Comparación

A continuación se verán cuatro imágenes de las señales usadas en la Etapa 4, las cuales se puede observar como en la versión 2.3 elimina esas oscilaciones de voltaje. Quedara concluir si eso justifica la incorporación de la Etapa 3.



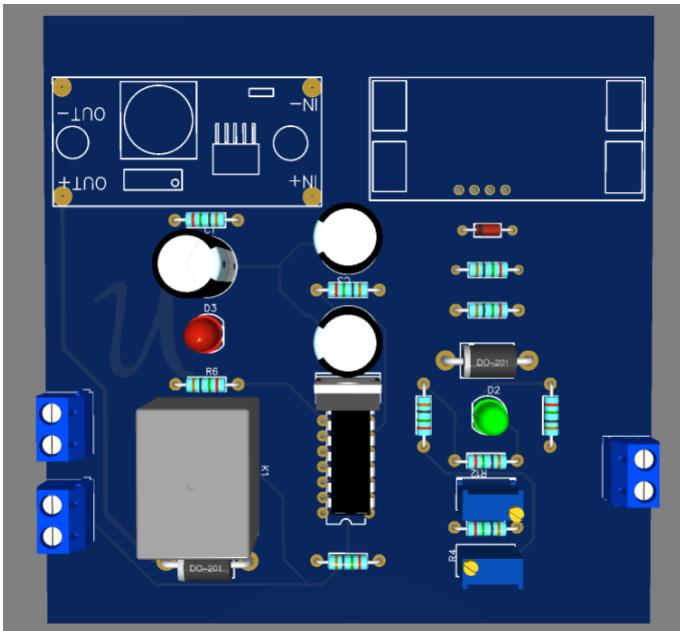
(a) Gráficos (Proteus). Izquierda: VPanel. Derecha: VWall. (V1.3).

(b) Gráficos (Proteus). Izquierda: VPanel. Derecha: VWall. (V2.5)

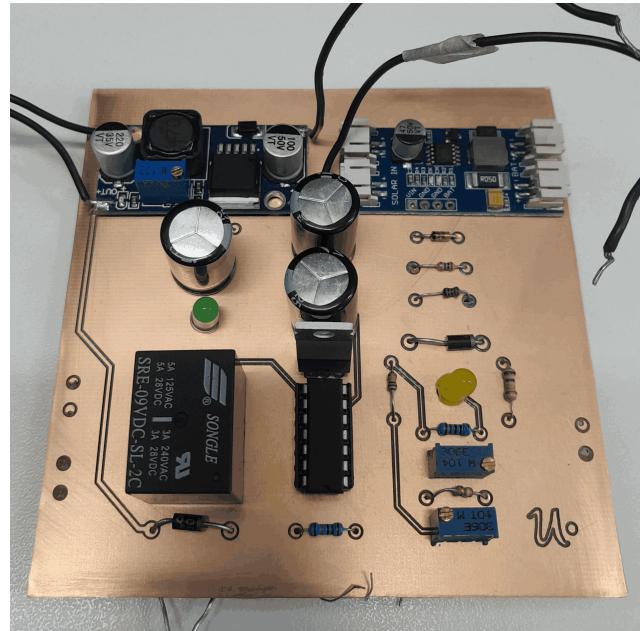
Figura 24: Señales vistas desde la Etapa 4 en los dos circuitos.

## 6.4. Fabricación del cargador

Se diseño el PCB del cargador en Easy-EDA.



(a) PCB diseñado.



(b) PCB fabricado.

Figura 25: Cargador Solar V2.5

## 7. Elección de componentes

Componente	Requisitos	Utilizado
Etapa 1 - Switching		
Conejero $P_1$ ( $V_{Panel}$ )	15V y 5A	Bornera.
Conejero $P_2$ ( $V_{Wall}$ )	15V y 5A	Bornera.
Relé $K_1$	15V y 5A	SRE-12VDC-SL-2C
Capacitor $C_1$	Electrolito y de alta capacitancia	Electrolito 560 $\mu$ F
Resistencia $R_1$	1 $\mu$ W y 300k $\Omega$	1/4 Watt y 300k $\Omega$
Resistencia $R_2$	1 $\mu$ W y 47k $\Omega$	1/4 Watt y 47k $\Omega$
Step-Down $U_3$	Reducir de 15V a 3V	LM2596
Etapa 2 - Cargador Solar		
Cargador Solar $U_2$	12V y 5A	CN3791 versión de 12V
Portapilas $Batt_1$	Colocar varias baterías en paralelo 18650 (no asignado)	No asignado
Etapa 3 - Histeresis		
OpAmps $U_1$	4 OpAmps, alimentación negativa con GND, alimentación positiva mínima de 3V y máxima de 5V	LM324
Resistencia $R_3$	1 $\mu$ W y 39k $\Omega$	1/4 Watt y 39k $\Omega$
Trimmer $R_4$	100k $\Omega$ o 200k $\Omega$	W104 306E 2396 (100k $\Omega$ )
Resistencia $R_5$	1 $\mu$ W y 560k $\Omega$	1/4 Watt y 560k $\Omega$
Resistencia $R_6$	1 $\mu$ W y 220 $\Omega$	1/4 Watt y 220 $\Omega$
LED $D_2$	LED 5mm Verde	LED 5mm Verde
Resistencia $R_7$	1 $\mu$ W y 220 $\Omega$	1/4 Watt y 220 $\Omega$
LED $D_3$	LED 5mm Amarillo	LED 5mm Amarillo
Etapa 4 - Load-Sharing		
Diodo $D_1$	Diodo de baja caída de voltaje	1N5820 o 1N4007 (peor caso)
Transistor $Q_1$	Transistor MOSFET canal P con capacidad de conmutación y amplificación	IRF9530
Capacitor $C_2$	Electrolito y de alta capacitancia	Electrolito 560 $\mu$ F
Etapa 5 - Salida		
Diodo $D_4$	Diodo de baja caída de voltaje	1N5820 o 1N4007 (peor caso)
Resistencia $R_8$	1 $\mu$ W y 10k $\Omega$	1/4 Watt y 10k $\Omega$
Diodo $D_5$	Diodo Zener de 2.7V	1N5223B
Resistencia $R_9$	1 $\mu$ W y 10M $\Omega$	1/4 Watt y 10M $\Omega$
Capacitor $C_3$	Electrolito y de alta capacitancia	Electrolito 560 $\mu$ F
Resistencia $R_{10}$	1 $\mu$ W y 220k $\Omega$	1/4 Watt y 220k $\Omega$
Trimmer $R_{11}$	100k $\Omega$ o 200k $\Omega$	W104 306E 2396 (100k $\Omega$ )
Resistencia $R_{12}$	1 $\mu$ W y 150k $\Omega$	1/4 Watt y 150k $\Omega$

Cuadro 11: Tabla de elección de componentes.

## 8. Fallas

En la siguiente sección se verá que sucede en caso de falla de los componentes del cargador de baterías, el cuál se realizará etapa por etapa.

### 8.1. Etapa 1 - Switching

Esta etapa es fundamental, debido a que es la que se encarga de suministrarle energía a la etapa 2 para cargar la batería, además de generar una vía alternativa para alimentar a la estación base. A continuación se verá que sucederá si fallan sus componentes. En caso de romperse el capacitor  $C_1$  o la resistencia  $R_2$ , producirá un mal comportamiento del circuito, ya sea porque, va a haber un bajón abrupto de tensión al activarse  $V_{Wall}$  o una mala comparación en la etapa 3 además de una sobre tensión en la entrada de su OpAmp respectivamente.

En caso de fallar el conector de  $V_{Wall}$  o el relé  $K_1$  en las patas 1, 4, 5 o 12, producirá que la estación base y la carga de las baterías no pueda ser suministrada mediante la alimentación de pared.

En caso de fallar el conector de  $V_{Panel}$  o el relé  $K_1$  en las patas 3 o 4, producirá que la estación base y la carga de las baterías no pueda ser suministrada mediante la alimentación producida por el panel solar.

Cabe destacar que en caso de fallar la pata 4 del relé  $K_1$ , solo se podrá alimentar mediante  $V_{Bat}$  hasta que se le acabe la batería debido que tampoco podrán ser cargadas.

En caso de fallar  $R_1$ , producirá que el voltaje del panel no pueda ser comparada en la etapa 3, por lo cual producirá que el load-sharing de la etapa 4 deje pasar solo la alimentación proveniente de  $V_{Bat}$ .

### 8.2. Etapa 2 - Cargador Solar

En caso de fallar esta etapa, la estación base se suministrará solamente mediante  $V_{Switching}$ . En esta situación, la estación base solo podrá sobrevivir de forma constante si esta funcionando  $V_{Wall}$ . En caso contrario, o sea que este alimentado solo por  $V_{Panel}$ , la estación base solo funcionara cuando este pueda suministrarle la energía necesaria para su funcionamiento. Por lo cual, mientras no haya luz solar, la estación base permanecerá apagada.

Las fallas en las celdas provocará que vaya disminuyendo la capacidad, y con ello, la autonomía del cargador.

### 8.3. Etapa 3 - Histeresis

Esta etapa, al ser el controlador del gate del transistor de la etapa 4, puede producir diferentes situaciones al fallar alguno de sus componentes. Los cuales se verán a continuación.

Al romperse cualquier pata de  $U_{1,1}$  o  $U_{1,3}$  o la pata 6 de  $U_{1,2}$ , provocará que el gate se mantenga apagado constantemente. Y con ello, transistor de la etapa 4 solo dejara pasar la energía proveniente de  $V_{Bat}$ .

En caso de fallar  $R_3$ ,  $R_4$ , la pata 5 o 7 de  $U_{1,2}$  o la pata 9 de  $U_{1,3}$ , provocará que el gate siempre este activo. Por lo cual, el load-sharing funcionara como uno normal, provocando que se cambie a la alimentación a  $V_{Step-Down}$  cuando el voltaje de este sea superior al de  $V_{Bat}$ . Esto puede suponer un grave problema, debido a que no esta garantizado que a ese voltaje, el panel solar generé la corriente suficiente para mantener viva a la estación base.

Si falla  $R_5$ , producirá que la Histeresis no funcione perdiendo su función de realimentación. Por lo cual, el  $U_{1,2}$  funcionará como un comparador normal de un solo voltaje de referencia.

Al fallar el diodo  $D_2$  o la resistencia  $R_6$  simplemente se pierde el indicativo de cuando se suministra

la energía a la estación base mediante  $V_{Bat}$ . Lo mismo pasa cuando se le suministra energía mediante  $V_{Step-Down}$ , pero con el diodo  $D_3$  y la resistencia  $R_7$ .

## 8.4. Etapa 4 - Load-Sharing

En caso de romperse el gate de  $Q_1$ , provocará que este solo deje pasar la energía proveniente de  $V_{Bat}$ .

Si fallara el drain, la estación base solo puede sobrevivir de forma constante si esta funcionando  $V_{Wall}$ . En caso contrario, o sea que este alimentado solo por  $V_{Panel}$ , la estación base solo funcionara cuando este pueda suministrarte la energía necesaria para su funcionamiento. Por lo cual, mientras no haya luz solar, la estación base permanecerá apagada.

Al fallar  $D_1$ , provocará que la estación base sea alimentado solo por  $V_{Bat}$ .

La estación base dejaría de ser suministrada en caso de falla en el source de  $Q_1$ . Este componente es fundamental para el funcionamiento del circuito y una falla en esta parte puede provocar el no suministro hacia la estación base.

En caso de fallar  $C_2$ , provocará que haya un cambió abrupto de voltaje durante el cambió de alimentación.

## 8.5. Etapa 5 - Salida

Al fallar la conexión a la estación base provocará que esta no pueda ser suministrada.

En caso de romperse  $D_2$ ,  $R_8$ ,  $U_{1,4}$  o  $R_{10}$  producirá que no se genere el voltaje de referencia para la etapa 3. Provocando que el gate se mantenga apagado constantemente y el transistor de la etapa 4 solo dejara pasar la energía proveniente de  $V_{Bat}$ .

Se producirá un sobre voltaje en la pata 12 de  $U_{1,4}$  en caso de fallar  $D_2$  o  $R_9$ . También provocando que haya un error en el voltaje de referencia de la etapa 3, siendo mucho mayor a lo requerido, provocando que el gate de la etapa 4 este siempre encendido y  $Q_1$  funcionando como un load-sharing normal.

Esto último también pasara en caso de fallar  $R_{11}$  o  $R_{12}$ .

En caso de fallar  $C_3$ , provocará que varíe de forma más rápida (de 1.28 a 1.32V) el voltaje que entra en la pata 12 de  $U_{1,4}$ .

## 8.6. Tabla de fallas

Al describir que pasaría en caso de fallar los componentes, se puede realizar una tabla la cuál agrupara los componentes que fallen con sus respectivas consecuencias.

Además, usaremos un sistema de colores para catalogar las fallas, el cual se mostrara a continuación:

Admissible	Tolerable	Inadmissible	Fatal

Cuadro 12: Descripción y prioridad.

Tipo de falla	Componente	Consecuencias
Cambió de Tensión	$C_1$ $C_2$ $C_3$	Cambió abrupto de voltaje durante el cambio de alimentación. Varia de forma más rápida (de 1.28 a 1.32V) el voltaje que entra en la pata 12 de $U_{1,4}$ .
Indicador de Alimentación	$D_2, R_6$ $D_3, R_7$	Se pierde el indicativo de cuando se suministra mediante $V_{Bat}$ . Ídem pero con $V_{Step-Down}$ .
Alimentación Externa	$P_2 (V_{Wall})$ , $K_1$ (1, 4, 5 o 12) $P_1 (V_{Panel})$ , $K_1$ (3 o 4) $D_1$	La estación base y la carga de las baterías no pueda ser suministrada por $V_{Wall}$ . Ídem por $V_{Panel}$ .
Alimentación Interna	$Q_1$ (Drain) Fallo CN3791 Baterías	La estación base solo puede sobrevivir de forma constante si esta funcionando $V_{Wall}$ . Disminución de la capacidad y perdida de autonomía.
Comparación Histeresis	$R_5$	$U_{1,2}$ funcionará como un comparador normal al perder la realimentación que produce la histeresis.
Comparación Gate Apagado	$R_1$ $U_{1,1}, U_{1,3}, U_{1,2}$ (6) $Q_1$ (Gate) $D_2, R_8, U_{1,4}$ o $R_{10}$	El voltaje del panel no podrá ser comparado en la etapa 3. El gate se mantenga apagado constantemente y solo se proveerá la energía mediante $V_{Bat}$ . No se genera el voltaje de referencia para la etapa 3.
Comparación Load-Sharing	$R_2$ $D_2$ o $R_9$ $R_{11}$ o $R_{12}$	Mala comparación en la etapa 3. Puede que el gate este casi siempre encendido. Error en el voltaje de referencia de la etapa 3, el gate esta siempre encendido y $Q_1$ funcionando como un load-sharing normal.
Normal	$R_3, R_4, U_{1,2}$ (5 o 7), $U_{1,3}$ (9)	Puede que el panel solar no proveerá suficiente corriente al superar $V_{Bat}$ .
Sobre Voltaje	$R_2$ $D_2$ o $R_9$	Sobre tensión en la pata 6 de $U_{1,2}$ . Sobre voltaje en la pata 12 de $U_{1,4}$ .
Falla Fatal	$Q_1$ (source) $P_3$ ( $V_{Estacion-Base}$ ) $K_1$ (4)	La estación base no podrá ser suministrada. Solo se podrá alimentar mediante $V_{Bat}$ hasta que se le acabé la batería.

Cuadro 13: Tabla de componentes y sus consecuencias en caso de falla.

## 9. Circuito enfriador

Al cambiar de un CN3791 de 6V a uno de 12V trajo un problema, este siendo que se sobrecalienta al cargar las baterías. Por lo cual se diseño un circuito para enfriarlo al cargar las baterías utilizando un ventilado. Este circuito te puede ver a continuación:

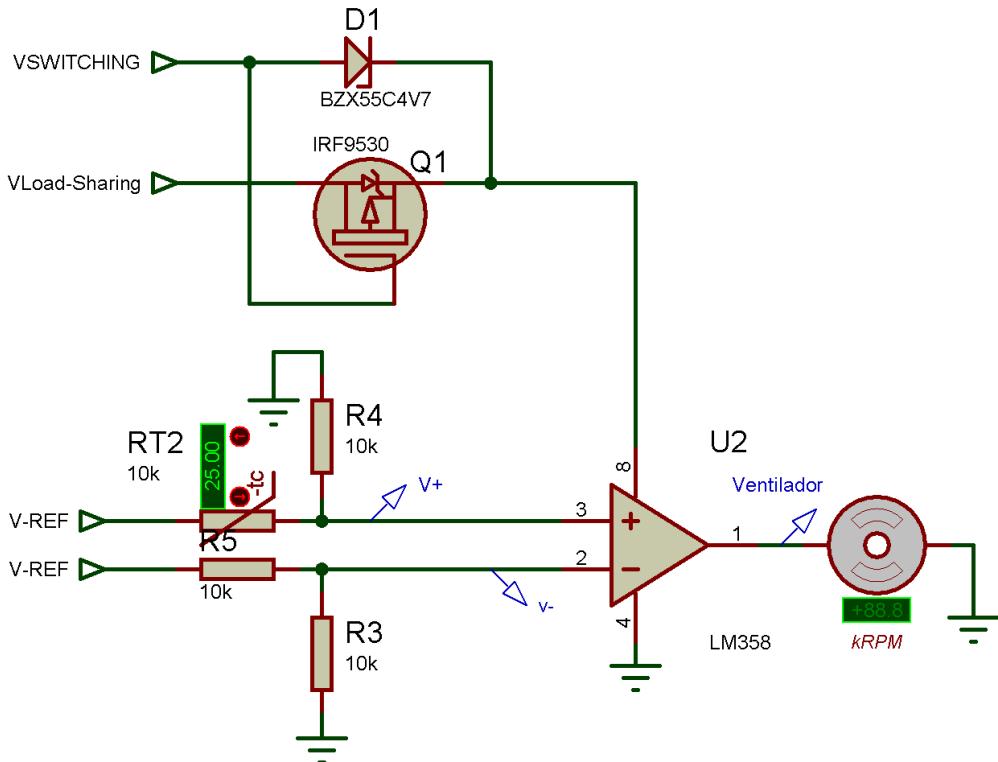


Figura 26: Esquemático del circuito enfriador.

Su funcionamiento es el siguiente, se utilizará un OpAmp para comparar dos señales, siendo ambas provenientes de divisores de tensión de V-Ref. El que entra a la pata  $V_+$ , se compone por una resistencia que va a masa y un termistor NTC de  $10\text{k}\Omega$  a temperatura ambiente ( $25^\circ\text{C}$ ), el divisor de tensión será más grande mientras mayor temperatura haya, esto debido al comportamiento del termistor. En la pata  $V_-$  se encuentra el otro divisor de tensión el cuál usaremos como referencia para encender el ventilador. Para modificar en qué temperatura se encenderá el ventilador, se debe de modificar  $R_5$ , en este caso se encendería a  $25^\circ\text{C}$ .

$$V_+ = \frac{V_{\text{Ref}}R_4}{R_4 + RT_2}$$

$$V_- = \frac{V_{\text{Ref}}R_3}{R_3 + R_5}$$

Condición de encendido del ventilador:  $V_+ > V_-$ .

Se utilizará un ventilador de 12V que comienza a funcionar a partir de los 6V. Para ello, el voltaje positivo del OpAmp viene de un Load-Sharing. La idea es que comience a funcionar cuando se esté cargando batería, o sea  $V_{\text{Switching}} > 11\text{V}$ . Pero  $V_{\text{Switching}}$  puede valer 0V, o ser menor que los voltajes de entrada  $V_-$  y  $V_+$ , lo que puede llevar a un mal funcionamiento del OpAmp. Por lo cual se agrega el voltaje de  $V_{\text{Load-Sharing}}$ , el cual siempre es mayor que los voltajes de entrada y se evita este problema, además que se cambiara el suministro de energía cuando  $V_{\text{Switching}} > V_{\text{Load-Sharing}}$ .

## 10. Bibliografía

### 10.1. Controlador

- POWMR - PWM vs MPPT.<sup>18</sup>

<sup>18</sup><https://powmr.com/es/blogs/news/mppt-vs-pwm>

## 10.2. Componentes

- Tempero Systems - HX-2S-01.<sup>19</sup>
- Youtube - Battery Management System (BMS) for a Lithium Ion Battery (with HX-2S-01).<sup>20</sup>
- Electronic Linic - Battery Management System (BMS) for a Lithium Ion Battery (with HX-2S-01).<sup>21</sup>
- TP4056<sup>22</sup>
- Tindie - SOLAR CHARGER (con esquemático).<sup>23</sup>
- Tindie - Demostración de Solar Charger.<sup>24</sup>
- Mercado Libre - Cargador CN3719 (opciones de 6V, 9V y 12V).<sup>25</sup>
- Datasheet DSE-CN3065.<sup>26</sup>
- Make Electronics - CN3065.<sup>27</sup>
- Datasheet DSE-CN3791.<sup>28</sup> Datasheet LM358.<sup>29</sup> Datasheet SRE-12VDC-SL-2C.<sup>30</sup>
- Datasheet LM2596.<sup>31</sup>
- Datasheet LM324.<sup>32</sup>
- Datasheet LM358.<sup>33</sup>
- Datasheet 1N5820.<sup>34</sup>
- Datasheet 1N4007.<sup>35</sup>
- Datasheet IRFZ44N.<sup>36</sup>
- Datasheet IRF9530.<sup>37</sup>

<sup>19</sup><https://temperosystems.com.au/products/2s-5a-bms-hx-2s-01-li-ion-battery-protection-module/>

<sup>20</sup>[https://www.youtube.com/watch?v=xmq0hi3zTgQ&ab\\_channel=GemsungElectronics](https://www.youtube.com/watch?v=xmq0hi3zTgQ&ab_channel=GemsungElectronics)

<sup>21</sup><https://www.electroniclinic.com/bms-battery-management-system-explained/>

<sup>22</sup><https://www.instructables.com/Load-Sharing-Use-Solar-Panel-Safely-With-TP4056/>

<sup>23</sup><https://www.tindie.com/products/iotmcu/super-mini-solar-lipo-charger-v10/>

<sup>24</sup>[https://www.youtube.com/watch?v=gZnERTjM5PA&ab\\_channel=POWERGEN](https://www.youtube.com/watch?v=gZnERTjM5PA&ab_channel=POWERGEN)

<sup>25</sup>[https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1106257985-cargador-bateria-lipo-uso-panel-solar-cn3791-jm?attributes=Vm9sdGFqZQ%3D%3D%3D%3AN1Y%3D&quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1106257985-cargador-bateria-lipo-uso-panel-solar-cn3791-jm?attributes=Vm9sdGFqZQ%3D%3D%3AN1Y%3D&quantity=1)

<sup>26</sup><https://make.net.za/product/cn3065-solar-lithium-charger-module/>

<sup>27</sup><https://listado.mercadolibre.com.ar/dc-dc-boost>

<sup>28</sup>[https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/dse-cn3791-2.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/dse-cn3791-2.pdf)

<sup>29</sup><https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1144175/KEXIN/LM358.html>

<sup>30</sup><https://www.radiolocman.com/datasheet/pdf.html?di=150193>

<sup>31</sup><https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/223022/ESTEK/LM2596.html>

<sup>32</sup><https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/17871/PHILIPS/LM324.html>

<sup>33</sup><https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/3067/MOTOROLA/LM358.html>

<sup>34</sup><https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/201494/TSC/1N5820.html>

<sup>35</sup><https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/207678/PANJIT/1N4007.html>

<sup>36</sup><https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/17807/PHILIPS/IRFZ44N.html>

<sup>37</sup><https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/37028/SAMSUNG/IRF9530.html>

### 10.3. Final

- Nomadas Electronicos - Load Sharing<sup>38</sup>

### 10.4. Circuitos

- Histeresis - IDI Electrónica<sup>39</sup>

### 10.5. Diseño del circuito

- La mayoría de las configuraciones de los amplificadores operacionales están extraídos de 'solución ingenieril'.<sup>40</sup>
- Foro en el cual se trata el Load-Sharing - Stack Exchange.<sup>41</sup>
- Foro en el cual se trata el Load-Sharing - Stack Exchange.<sup>42</sup>
- Foro en el cual se trata el Load-Sharing - Blog Zakkemble.<sup>43</sup>
- Foro en el cual se trata el Load-Sharing con hysteresis - Arduino Forum.<sup>44</sup>
- Carpeta en la cual un usuario del foro (Arduino Forum) trabajo sobre la implementación del Load-Sharing con hysteresis- GitHub.<sup>45</sup>
- Foro en el cual se trata el Load-Sharing con booster (falta revisarlo) - Arduino Forum.<sup>46</sup>



Mg. Ing. Jorge Cogo

Ing. Denis Heredia

Tutor CITTECA Sede Andina

Tutor UNRN

DNI: 30.612.899

DNI: 37.763.650

<sup>38</sup><https://nomadaselectronicos.wordpress.com/2015/05/22/fuentecargador-con-carga-compartida-load-sharing/>

<sup>39</sup><https://idielectronica.blogspot.com/2014/08/es-que-es-la-histeresis.html>

<sup>40</sup>[https://solucioningenieril.com/asignaturas/amplificadores\\_operacionales](https://solucioningenieril.com/asignaturas/amplificadores_operacionales)

<sup>41</sup><https://electronics.stackexchange.com/questions/293353/load-sharing-charging-circuit-for-lithium-battery-charger>

<sup>42</sup><https://electronics.stackexchange.com/questions/169611/solar-battery-charger-with-load-sharing>

<sup>43</sup><https://blog.zakkemble.net/a-lithium-battery-charger-with-load-sharing/>

<sup>44</sup><https://forum.arduino.cc/t/a-simplier-version-for-the-battery-charger-tp4056/1098526/23>

<sup>45</sup><https://github.com/gbhug5a/Solar-Power-Load-Sharing>

<sup>46</sup><https://forum.arduino.cc/t/at-last-18650-charge-boost-module-with-load-sharing/1164462/16>