

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE POTENCIA PORTÁTIL BASADO EN SISTEMAS MICROPROCESADOS PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA EQUIPOS EXISTENTES EN EL LABORATORIO DE UAVS Y APLICACIONES ÓPTICAS

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN “ELECTRÓNICA Y CONTROL”**

PAGUAY PAGUAY CRISTIAN JESÚS

cristian.paguay@epn.edu.ec

QUINATOA LLANO KATHERINE LIZBETH

katherine.quinatoa@epn.edu.ec

DIRECTOR: Dr.-Ing. MARCELO POZO P.

marcelo.pozo@epn.edu.ec

CODIRECTOR: EDUARDO ÁVALOS CASCANTE, Ph.D.

eduardo.avalos@epn.edu.ec

Quito, enero 2018

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Cristian Jesús Paguay Paguay y Katherine Lizbeth Quinatoa Llano, bajo nuestra supervisión.

Dr.-Ing. PAÚL MARCELO POZO PALMA
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

EDUARDO ÁVALOS CASCANTE, Ph.D.
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Cristian Jesús Paguay Paguay y Katherine Lizbeth Quinatoa Llano, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Cristian Jesús Paguay Paguay

Katherine Lizbeth Quinatoa Llano

DEDICATORIA

A mi familia, a las futuras generaciones que siguen tras de mí y a las que me precedieron, para ellos todo el esfuerzo realizado. Que este logro sirva de ejemplo para mi hermano y mis sobrinos quienes para este punto de mi vida constituyen una gran fuente de inspiración, que sirva de motivación para que logren muchas cosas más.

PER ASPERA AD ASTRA.

Cristian Jesús Paguay Paguay

AGRADECIMIENTO

A mis padres Jesús y Vilma que me han apoyado en todo sin condiciones, a mis hermanos Ángela y Héctor, quienes han sido un pilar fundamental en toda mi vida, gracias al esfuerzo, dedicación, apoyo y motivación de ellos he logrado culminar esta etapa de mi vida. Siempre serán mi más grande apoyo en las futuras etapas de mi vida.

En momentos en que los conocimientos no fueron necesarios para seguir con este proyecto se presentaron emociones, felicidad que te transmiten y que sirven de motivación para seguir adelante, gracias Steffy por acompañarme en esta etapa, los mejores deseos para ti, que la vida nos depare muchas más experiencias.

Al Dr. Eduardo Ávalos por su apoyo y motivación para que se desarrolle este proyecto. Al Dr. Marcelo Pozo que fue de guía para que este proyecto se desarrolle de la mejor manera posible.

A mis amigos que me brindaron apoyo en períodos en los que no se tenía una visión clara y que con su ejemplo de superación generaron ideas que me sirvieron de sustento. Se les agradece también por las experiencias que se tuvieron esperando tenerles en un futuro como apoyo personal y profesional. Gracias porque sus convicciones han ayudado a que mi personalidad se desarrolle para bien.

Agradezco también a esta institución y a todos quienes dentro de la misma impartieron sus conocimientos con los cuales este proyecto ha tomado forma. También un agradecimiento a los lectores esperando que lo desarrollado les pueda servir para futuros proyectos.

Cristian Jesús Paguay Paguay

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres por su comprensión, amor y todo el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida. En especial a mi mami porque sin ella no hubiese logrado alcanzar esta meta.

Kathy Quinatoa

AGRADECIMIENTO

A mis padres por haberme apoyado a lo largo de mi vida, brindarme su amor incondicional y comprenderme en momentos difíciles, sin su guía no habría logrado alcanzar esta meta. Principalmente a mi mami porque ha antepuesto mi vida a la suya, siempre estaré a tu lado mami.

A mi familia por estar pendiente de mi vida y apoyar a mi madre en los momentos que no he estado presente, en especial a mis tíos Silvio y Carmen que han estado a mi lado desde mi infancia y han confiado en mí para que sea un ejemplo para mi ahijada Sammy, sepan que siempre velaré por su bienestar.

A los amigos que me han acompañado a lo largo de mi vida estudiantil en especial a Eddy por compartir conmigo momentos felices y tristes, y pesar de todo no dejar que me rinda brindándome su amor incondicional, también a Mary que ha sido una gran amiga durante todos los años en la universidad, me ha escuchado, apoyado y ha sido la hermana que no tuve, te quiero mucho y finalmente a Jiss y Galo que han estado conmigo en momentos difíciles a pesar de la distancia sepan que no olvidaré su apoyo en momentos difíciles.

Al Doctor Marcelo Pozo por su entendimiento y sus consejos para la culminación de este proyecto y al Doctor Ávalos por incentivarlos y apoyarnos en el laboratorio.

Kathy Quinatoa

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Alcance	2
1.3 Marco Teórico	3
Administración de energía	3
Energía solar.....	3
Sistema de generación solar.....	4
Efecto fotovoltaico.....	4
Células fotovoltaicas	5
Funcionamiento de una celda solar	5
Panel solar	7
Curva I-V y P-V	7
Circuito equivalente de una celda solar	8
Almacenamiento de energía eléctrica	9
Tipos de almacenamiento de energía eléctrica.....	9
Baterías de iones de litio	10
Funcionamiento de las baterías de litio.....	10
Límites de operación de la batería de litio.....	11
Curva de carga de la batería de litio	12
Método de carga de la batería de litio	13
Duración de la batería de litio	14
Baterías de polímero de litio (LIPO).....	15
Electrolito de polímero sólido.....	16

Electrolito de polímero gelicado	17
Convertidores estáticos de energía para gestión de energía.....	17
Convertidor DC-DC	17
Convertidores comerciales DC-DC	24
Sistemas digitales para administración de energía.....	28
Acondicionamiento de señales	28
Sistemas micro procesados para administración de energía	29
HMI s.....	29
2. METODOLOGÍA.....	31
Sistema Micro controlado.....	31
Convertidores comerciales.....	33
Medición y acondicionamiento de variables.....	34
Corriente.....	34
Voltaje.....	34
Temperatura.....	35
Sistema electrónico de potencia.....	36
Circuito de disparo y aislamiento.....	36
Dimensionamiento de mosfets.....	38
Dimensionamiento de la batería LIPO.....	39
Cargador de baterías LIPO.....	39
Balanceador de celdas para baterías LIPO.....	42
Sistema de detección de fuentes de alimentación.....	43
Red eléctrica.....	43
Batería de automóvil.....	44
Panel solar.....	44
Protecciones.....	45
Dimensionamiento de diodos.....	45
Dimensionamiento de fusibles.....	45
Circuito del sistema de Ventilación.....	46
Software.....	47
Conmutación de fuentes.....	47
Controlador de carga de batería lipo.....	48
Balanceador de celdas de baterías LIPO.....	51
Protocolo de comunicación.....	51
Comunicación entre microcontroladores.....	51

Comunicación al HMI	53
HMI	54
Programación.....	56
Estado del sistema.....	57
Alarmas.....	58
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
Placas Electrónicas de control	62
Conmutación de fuentes	62
Comunicación del sistema	65
Control del convertidor Buck&Boost.....	67
Control de carga de baterías.....	67
Controlador PI (calibración)	67
Balanceo de celdas.....	68
Pruebas de funcionamiento	69
Potencia suministrada por el equipo	71
Estado de las baterías	73
Curva de carga de las baterías	73
4. CONCLUSIONES	77
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
6. ANEXOS.....	82
ANEXO I.....	82
ANEXO II.....	93
Esquema general del circuito.....	93
ANEXO III.....	98
Hoja de Datos: Mosfet IRF540	98
Hoja de Datos: Mosfet PMV40UN2.....	101
Hoja de Datos: Mosfet 2N7002	104
Hoja de Datos: Diodo S10A	106
Hoja de Datos: Operacional LM124-LM224-LM324	111
Hoja de Datos: Optoacoplador PC817	113
ORDEN DE EMPASTADO	115

RESUMEN

El presente proyecto permite realizar la administración de la energía brindada por tres fuentes de alimentación que se pueden conectar al sistema desarrollado. El equipo cuenta con dos baterías, la primera conectada al sistema para almacenar energía como respaldo mientras que la segunda está conectada al equipo para el cual está diseñado este sistema.

Mediante el acople de circuitos electrónicos con un sistema micro procesado se realiza el control de la electrónica de potencia, acondicionamiento de señales y toma de decisiones en función de variables del sistema como son: voltaje en las celdas de las baterías, fuente de alimentación conectada, corrientes de consumo del equipo conectado, entre otras.

El sistema da prioridad de carga a la segunda batería ya que esta suministra energía al equipo conectado como carga, por lo cual se mantiene a la misma cargada el mayor tiempo posible. Las baterías lipo se cargan de acuerdo a la curva de carga recomendada por el fabricante para evitar daños en la misma y aumentar su vida útil.

Con el acondicionamiento en hardware como en software de convertidores estáticos del tipo Buck&Boost se busca simplificar la utilización de convertidores de energía evitando el diseño matemático de los mismos, potencia acorde a la necesidad y reducción del tamaño. Además, el control implementado puede ser utilizado en otras aplicaciones en las que se requiera control de voltaje o corriente.

La interfaz en la pantalla nextion muestra el estado de las baterías, avisos y alarmas, también se puede conocer las fuentes que se encuentren conectadas al equipo y cuál de ellas se encuentra suministrando energía al mismo.

PALABRAS CLAVE: convertidores DC/DC comerciales, gestión y administración de energía, lipo, conmutación, energía solar, nextion.

ABSTRACT

The present project allows the management of the energy provided by of three power supplies that can be connected to the equipment developed. In addition the equipment has a backup battery whose purpose is that the battery that is connected to the system as a load can remain in operation a longer time.

Through the coupling of electronic circuits with a microprocessed system the control of power electronics, signal conditioning and decision making is performed based on system variables such as: voltage in the cells of the batteries, power supply connected, currents consumption of connected equipment, among others.

The equipment gives priority to the battery that supplies power, for which this charged battery is kept as long as possible. The lipo batteries are charged according to the recommended load curve to avoid damage to it and increase its useful life.

With the conditioning in hardware as in software of static converters of the Buck & Boost type, the aim is to simplify the use of energy converters avoiding the mathematic design of them, power according to the need and size reduction. In addition, the implemented control can be used in other applications where voltage or current control is required.

The interface in the nextion screen shows the status of the batteries, warnings and alarms, you can also know the sources that are connected to the equipment and which one is supplying power to it.

KEYWORDS: commercial DC/DC converters, energy management, lipo, switching, solar energy, nextion.

1. INTRODUCCIÓN

Algunos equipos electrónicos tienen la necesidad de contar con sistemas de potencia los cuales deben realizar la administración de la energía en aplicaciones y escenarios a los que están orientados los equipos como son: pruebas y mediciones en laboratorio, pruebas en campo, traslado y operación de los equipos, etc. Por ende, se necesita de equipos que permitan usar una fuente de alimentación dependiendo del escenario en el que se encuentren, estas fuentes pueden ser: solar fotovoltaica, red eléctrica o puntos de energía en automóviles que son voltajes DC.[1]

Para tener un funcionamiento adecuado y continuo, se requiere de administración de energía, haciendo uso de redundancia de baterías las mismas que pueden encontrarse en continua carga y descarga para aumentar el uso del equipo, es decir mientras una batería se descarga suministrando energía al equipo la otra batería se va a encontrar en proceso de carga para respaldar la energía hasta cuando se requiera la conmutación con la otra batería para suplir la necesidad energética. Con esto se busca tener un equipo portátil, autónomo, de operación continua e independiente energéticamente hablando. Se consideran los niveles adecuados de voltaje al que deben operar y los niveles de carga y descarga de las baterías empleadas para evitar daños en las mismas.

Debido a que existen equipos de diferentes necesidades energéticas, se crea un dispositivo genérico que se pueda acoplar a los mismos sin la necesidad del diseño de nuevos convertidores estáticos de energía [2].

El equipo realizado es portátil ya que las aplicaciones en donde va a ser su frecuente uso requieren facilidad de movilización. Se cuenta con un sistema de energía que administra tanto el consumo del equipo como la carga de las baterías LIPO acopladas al sistema [3]. Estas baterías, que se encuentran acopladas a dos sistemas separados, se pueden interconectar entre sí, presentan un funcionamiento autónomo y en conjunto que abastecen las necesidades de energía para una operación continua. Además, con el monitoreo de las diferentes variables se realiza el control del sistema y se conoce el estado del mismo.

1.1 Objetivos

El objetivo general de este Estudio Técnico es: Diseñar e implementar un sistema de potencia portátil basado en sistemas micro procesados para la administración del suministro de energía para equipos existentes en el Laboratorio de UAVs y Aplicaciones Ópticas.

Los objetivos específicos de este Estudio Técnico son:

- Investigar acerca de: convertidores estáticos de energía del tipo Buck-Boost, carga de baterías LIPO, funcionamiento de paneles solares.
- Diseñar un sistema Micro procesado que permita el control de carga de energía de baterías tipo LIPO desde tres fuentes de alimentación, desarrollar el control de convertidores estáticos de energía comerciales Buck-Boost.
- Desarrollar la programación para la gestión de energía del sistema para el control de la conmutación de las baterías y la generación de alarmas.
- Comprobar el funcionamiento del sistema en diferentes equipos, con las tres fuentes de alimentación y verificar que se siga la curva de carga característica de las baterías LIPO en base al fabricante.

1.2 Alcance

En la fase teórica se recopilará la información necesaria acerca de baterías LIPO, el método de carga recomendado por el fabricante y límites de funcionamiento [4]. Se investigará acerca de convertidores estáticos de energía comerciales del tipo Buck-Boost para suministrar una potencia de 50W al equipo. Se recopilará información acerca del funcionamiento, clasificación y generación de energía solar fotovoltaica.

En la fase de diseño se desarrollará un sistema de administración de energía basado en sistemas micro procesados, en el cual se realizará el acondicionamiento de las señales de los sensores de corriente y de voltaje, además se desarrollará la electrónica de potencia y el software necesario para el monitoreo de todo el sistema y el control de carga de dos baterías LIPO que ingresarán a trabajar de manera independiente, es decir, mientras una de las baterías se encuentre cargándose la otra puede estarse descargado. Se desarrollará una programación del sistema microprocesador, el cual administrará la gestión de energía del sistema, controlará la conmutación de las fuentes, realizará la comunicación con la interfaz gráfica en la que se proyectará las alarmas del sistema, así como también incluirá los algoritmos de carga de cada batería y la priorización de las fuentes de alimentación del sistema.

En la fase de implementación se unirán los componentes desarrollados y el programa con las subrutinas necesarias para comprobar la generación de alarmas por medio de una interfaz y el cambio a los escenarios de operación establecidos.

Para las pruebas se llevará al sistema de energía a los límites de operación segura comprobando el funcionamiento adecuado del equipo y observando que se realice el monitoreo de las variables relevantes del sistema mediante la conexión a los equipos existentes en el laboratorio de UAVs y aplicaciones ópticas o a equipos que permitan tener

un funcionamiento dinámico. Se verificará la curva de carga para comprobar que las baterías se carguen de acuerdo con lo que sugiere el fabricante, se verificará la carga de cada batería y la conmutación de las fuentes de alimentación.

1.3 Marco Teórico

En esta sección se tiene como objetivo estudiar los conceptos e información más relevante a ser usada en este trabajo.

Los equipos de espectrometría desarrollados en el laboratorio de UAVs de la Escuela Politécnica Nacional - EPN tienen como objetivo aminorar costos respecto a equipos comerciales que se encuentran enfocados en el análisis de muestras, pruebas en campo entre otros. Estos equipos no presentan una adecuada administración de energía por lo cual tienen un bajo tiempo de autonomía. Además, de una disminución de vida útil de las baterías utilizadas en el sistema de energía. Se requiere de un sistema de administración de energía que permita proteger las baterías LIPO las mismas que son utilizadas debido a su pequeño tamaño y gran capacidad de almacenamiento de energía.

Administración de energía

Una correcta administración de energía es necesaria en equipos que se encuentren en operación durante periodos prolongados de tiempo. Además, se hace necesario pensar en energía sostenible con la finalidad de almacenar energía para tener un mayor tiempo de autonomía de los equipos en lugares donde no se tenga acceso a la red eléctrica [5][6].

La administración de energía involucra los siguientes aspectos:

- Identificación de pérdidas de energía dentro del sistema y los costos adicionales que traen consigo las mismas [6].
- Identificación de las causas por las que se generan las pérdidas [6].
- Monitorización constante de la energía consumida [6].
- Controlar y reducir las pérdidas generadas en la transferencia de energía [6].

Por ende, es de suma importancia contar con un sistema de administración de energía en equipos electrónicos que además use fuentes de energía renovable con el fin de aumentar el tiempo de autonomía.

Energía solar

Debido al alto costo de la energía que depende de combustibles fósiles, así como aspectos amigables con el medio ambiente se hace necesario el estudio de energías alternativas. Una de las energías renovables que tienen mayor acogida es la energía solar debido a la gran cantidad de esta energía que recibe la superficie de la tierra [7], aproximadamente se

recibe 178000 TW/año de donde el 30% son reflejados a la atmósfera, el 50% absorbidos por la superficie terrestre mientras el 20% restante permite la generación de vientos.

En 1887 Heinrich Hertz descubre el efecto fotoeléctrico al observar que el arco formado por dos electrodos metálicos conectados a alta tensión emite cargas negativas cuando se encuentran bajo la acción de la luz, mientras que en 1905 Einstein generaliza la teoría hecha por Plank sobre fotones para decir que la radiación electromagnética se encuentra compuesta por paquetes de energía o fotones [8].

Sistema de generación solar

En la Figura 1.1 se observa el esquema de un sistema de generación solar fotovoltaica que está formado por dispositivos cuya finalidad es transformar la energía solar en energía eléctrica, comúnmente formado por tres componentes: generación, control y almacenamiento.

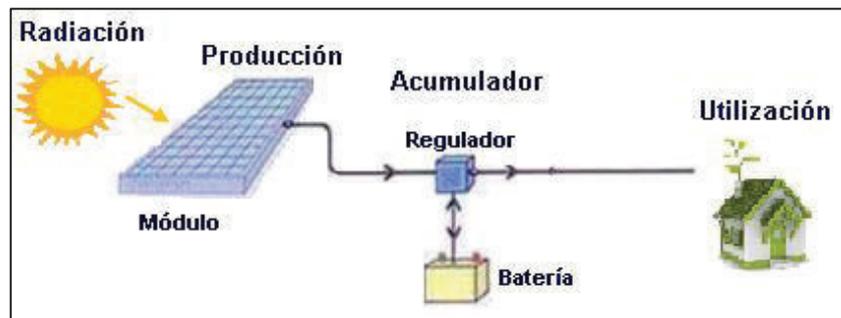


Figura 1.1. Sistema de generación solar [9].

Efecto fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico es el proceso que explica la conversión de la energía solar en electricidad, este efecto se consigue mediante elementos que poseen la capacidad de absorber fotones y emitir electrones [10]. En la Figura 1.2 se muestra la diferencia de potencial que se genera cuando la luz incide sobre un elemento semiconductor de dos capas siendo capaz de conducir corriente por medio de un circuito externo produciendo trabajo útil [10].

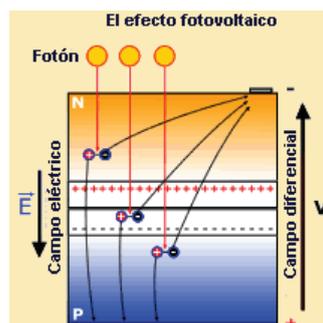


Figura 1.2 Efecto fotovoltaico [10].

Células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas están formadas por una delgada placa de un material semiconductor que generalmente es el silicio debido a que la energía de los fotones solares es similar a la energía que une los electrones de valencia con el núcleo [7][11].

En la Figura 1.3 se muestra cómo se forma un espacio llamado hueco cuando el electrón queda liberado, mismo que tiene carga eléctrica positiva de la misma magnitud que el electrón con signo contrario [7].

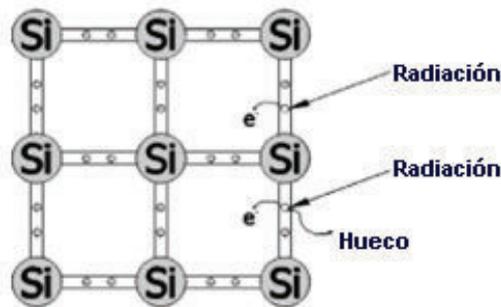


Figura 1.3. Efecto de la radiación solar sobre el silicio [7].

El hueco genera el campo eléctrico llamado unión PN donde la parte P es la que no se encuentra iluminada por luz solar mientras la parte N es la que se encuentra iluminada lo que da como resultado una célula solar. La colocación de electrodos en las capas de célula solar se obtiene energía eléctrica de intensidad proporcional a la cantidad de energía solar recibida para alimentar una carga [7][10].

Funcionamiento de una celda solar

La corriente en la celda fotovoltaica se da por el balance entre la fotocorriente y la corriente de oscuridad que a su vez depende de la tensión aplicada en los terminales del dispositivo cumpliendo el efecto fotoeléctrico, en la Figura 1.4 se observa que la corriente aplicada a la carga es la suma de las componentes internas de las corrientes que se oponen [12][13].

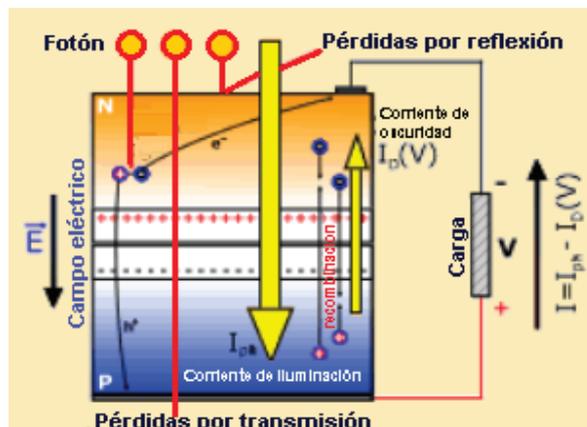


Figura 1.4. Principio de funcionamiento de una celda solar [12].

- **Corriente de iluminación (fotocorriente) (I_{ph}):**

Se produce por la generación de portadores que produce la iluminación.

$$I_{ph} = I_L$$

Ecuación 1.1 Corriente de iluminación [12].

Donde:

I_{ph} = Fotocorriente

I_L = Corriente inducida por luz

- **Corriente de oscuridad ($I_D(V)$):**

Se produce por la recombinación de portadores que generan el voltaje externo para poder entregar energía a la carga.

$$I_D(V) = I_o \left[\exp \frac{eV}{KT_c} - 1 \right]$$

Ecuación 1.2 Ecuación de la corriente de oscuridad [12].

Donde:

I_o = Corriente de saturación en polarización inversa de la oscuridad

K = Constante de Boltzman (8.617×10^{-5}) [eV.K⁻¹]

T_c = Temperatura (°K)

En la Ecuación 1.2 se observa que el lado derecho de la ecuación es conocido como ecuación del diodo, usado para describir las características eléctricas de un rectificador [14].

Se debe tomar en cuenta que no todos los fotones son capaces de formar energía eléctrica, por diferentes motivos como lo son:

- No todos los fotones superan el ancho de banda prohibido lo que no permite que se forme el par hueco-electrón [12].
- A pesar de que se supere el ancho de banda prohibido el átomo no es capaz de absorber todos los pares hueco-electrón [12].
- Además, algunos fotones pueden reflejarse en la superficie de la celda solar [12].

La celda solar puede generar energía en días nublados considerando que el rendimiento disminuye como se observa en la Figura 1.5, la altura en la que se coloque la celda solar no influye en la eficiencia del sistema, pero se debe evitar colocar en lugares donde se generen sombras, además, se debe tomar en cuenta la inclinación del panel solar para captar el mayor número de rayos solares [9].

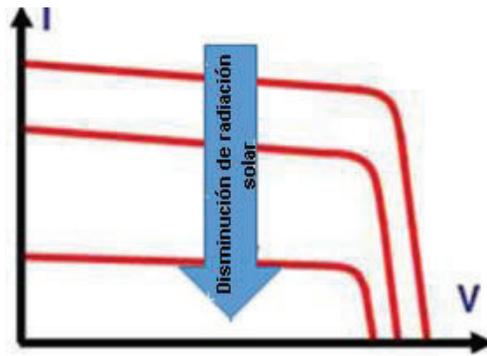


Figura 1.5. Efecto de la radiación solar en la celda solar [9].

Panel solar

El panel solar se encuentra formado por varias células solares iguales conectadas entre sí en serie o paralelo de tal forma que se forme un arreglo para obtener el voltaje y corriente deseados, mayormente se realiza el arreglo para alcanzar el voltaje deseado colocando células solares en serie, mientras que para alcanzar la corriente deseada se conectan en paralelo [12].



Figura 1.6. Paneles solares conectados [15].

Curva I-V y P-V

En la Figura 1.7 se muestra la curva I-V y la curva P-V que determina las características de una célula. Se obtiene por medio de la variación de la carga en sus terminales que se describe en la Ecuación 1.1, los valores de voltaje y corriente del panel dependen de la temperatura, de la irradiancia solar y de la distribución espectral de la luz [16].

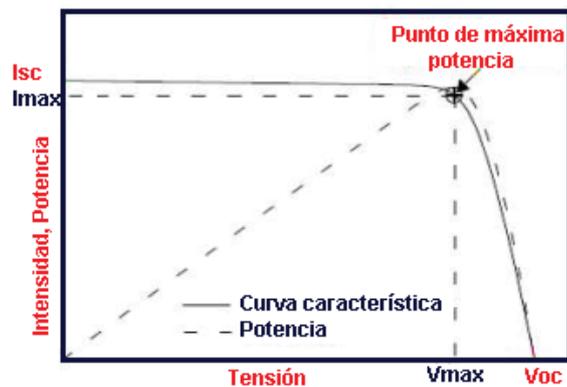


Figura 1.7. Curva I-V y P-V [16].

En la curva I-V se observa el comportamiento de un panel solar bajo ciertas condiciones ambientales que son como por ejemplo la radiación solar y la temperatura ambiente, la carga que se encuentre conectada al panel solar determina el punto de corriente y voltaje con lo cual se determina la potencia que se está consumiendo [16]. Por medio de la Ecuación 1.3 se puede determinar la corriente que proporciona la celda solar [17].

$$I = I_{sc} \cdot \left[1 - \left(\exp \frac{e \cdot (V_{oc} - V)}{m \cdot K \cdot T_c} \right) \right]$$

Ecuación 1.3: Ecuación para la curva I-V [17].

Donde:

I = Corriente de la celda solar

I_{sc} = Corriente de cortocircuito

e = Carga del electrón (1.6021×10^{-19}) [C]

V_{oc} = Tensión de circuito abierto

V = Tensión de la celda solar.

m = Factor ideal del diodo ($1 < m < 2$), normalmente igual a 1.

K = Constante de Boltzman (8.617×10^{-5}) [eV.K⁻¹]

T_c = Temperatura (°K)

Circuito equivalente de una celda solar

En la Figura 1.8 se tiene el circuito equivalente de una celda solar. Para determinar el circuito equivalente de una celda solar es necesario analizar la Ecuación 1.3, donde la corriente fotogenerada es modelada como una fuente de corriente, la corriente de oscuridad es representada por un diodo, se añaden resistencias en serie y paralelo por efectos apreciados en células reales [17].

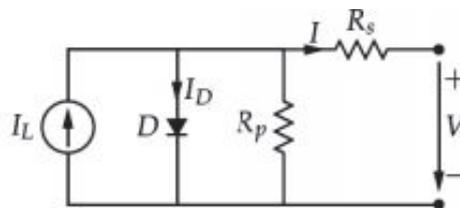


Figura 1.8. Circuito equivalente panel solar [17].

El contacto metálico con el semiconductor, con las capas semiconductoras y la malla de metalización es representado por una resistencia en serie. Las fugas de corriente en los bordes de la célula, posibles cortocircuitos metálicos y la recombinación de grano de cristal en las fronteras son representadas por la resistencia en paralelo que reduce el voltaje a

circuito abierto, debido a que toma valores considerablemente altos se puede despreciar dicha resistencia [17].

Almacenamiento de energía eléctrica

El almacenamiento de energía es necesario debido a la variación de las condiciones meteorológicas en el uso de las fuentes renovables por lo que es indispensable almacenar la energía y usarla en momentos de emergencia o necesidad [19].

En este proyecto es necesario el almacenamiento de la energía solar para tener un respaldo de energía cuando no se posea una fuente de alimentación y para pruebas de los equipos en campo.

Tipos de almacenamiento de energía eléctrica

El almacenamiento de energía se da dependiendo de las necesidades del sistema a alimentar, puede darse en:

- *Capacitores y Supercapacitores:* Son dispositivos que pueden almacenar grandes cantidades de energía para ser liberada de forma muy rápida ya que se encuentra en forma de carga electrostática [18].
- *Pilas de combustible:* Son dispositivos electroquímicos que utilizan hidrógeno como elemento combustible y oxígeno obtenido del aire, su funcionamiento es similar al de una batería. Tienen gran eficiencia debido a que la generación de energía es directa [19].
- *Baterías:* Almacenan energía durante mucho tiempo con una baja auto descarga, pueden ser primarias (no recargables) y secundarias (recargables). Existen varios tipos de baterías hechas de ácidos de plomo, Níquel-cadmio. Níquel-metal-hidruro, Iones de litio (Tabla 1.1), Polímero de litio, etc. [20] [21].

Tabla 1.1. Tipos de baterías de iones de litio [20][21]

Tipos de baterías de iones de litio	Nomenclatura	Capacidad mAh/g
Oxido de cobalto de litio	LiCoO_2	155
Oxido de manganeso de litio	LiMn_2O_4	100-120
Oxido de cobalto de litio y níquel-manganeso	$\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Mn}_z\text{Co}_y\text{O}_2(\text{NMC})$	140-180
Oxido de aluminio de cobalto de litio y níquel	$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{AlO}_2$	200
Fosfato de hierro y litio	LiFePO_4	160
Titanato de litio	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	160

En este proyecto se utiliza baterías de iones de litio, debido a accesibilidad que se tiene en el laboratorio por lo cual se procede a explicar más a fondo este tipo, más específicamente las baterías de polímero de litio.

Baterías de iones de litio

Las baterías de iones de litio son baterías recargables que no necesitan una descarga completa intencional por ende son de bajo mantenimiento, estas baterías son usadas en aplicaciones que requieren de un gran consumo de corriente ocupando poco espacio con una buena relación tamaño eficiencia [21].

En la Tabla 1.2 se muestra la composición de la batería de iones de litio.

Tabla 1.2. Composición de la batería de iones de litio [21]

Iones de litio	Cátodo (positivo) en lámina de cobre	Ánodo (negativo) en papel de aluminio	Electrolito
Material	Óxidos de metal derivados de cobalto, níquel, manganeso, hierro, aluminio	Basado en carbono	Sal de litio en un solvente orgánico
Carga completa	Óxido metálico con estructura de intercalación	Los iones de litio migraron al ánodo.	
Descargado	Los iones de litio vuelven al electrodo positivo	Principalmente carbono	

Las baterías de iones de litio tienen gran energía específica y capacidades de carga elevada con celdas de poder, grandes ciclos de vida útil sin mantenimiento, alta capacidad con baja resistencia interna. Tienen un algoritmo de carga simple con tiempos de carga moderadamente cortos además de su baja auto descarga en comparación con Níquel Cadmio y Níquel Manganeso [20].

Posee algunas desventajas como el requerimiento de circuitos de protección para evitar fugas térmicas, sufren degradación al trabajar a altas temperaturas y no se pueden cargar a bajas temperaturas de forma rápida [20].

Funcionamiento de las baterías de litio

Estas baterías constan de un electrodo positivo (ánodo), un electrodo negativo (cátodo) y un electrolito (conductor), la descarga de esta batería se da cuando los iones se dirigen al

cátodo desde el ánodo atravesando el electrolito y el separador mientras que para la carga de la batería la dirección de los iones se invierte como se observa en la Figura 1.9 [20].

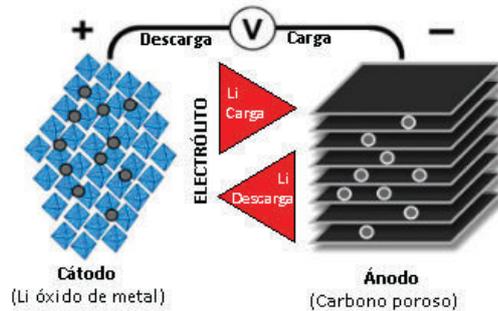


Figura 1.9. Flujo de energía en la batería Li [20]

Límites de operación de la batería de litio

Mientras más alto sea el voltaje nominal de las celdas de la batería de litio más se aumenta la duración, sin embargo, para evitar valores desconocidos del voltaje total de la batería los fabricantes tienen un valor nominal por celda de 3.6V para sistemas como fuentes de energía [20].

El voltaje nominal se da en función de la impedancia, así como de los materiales del ánodo y cátodo donde el voltaje del punto medio a carga máxima es de 4.2V/celda, mientras el punto de corte es de 3V/celda. Por ejemplo, el voltaje medio de una batería de Li-cobalto es de 3.6/celda mientras que la de una batería de Li-manganeso es de 3.7 debido a que su impedancia es más baja. En la Tabla 1.3 se muestra las principales variaciones de voltaje de la batería de Li-cobalto y en base a que características estos voltajes varían [20].

Tabla 1.3. Variaciones de voltaje típicas de las celdas de Litio-cobalto [20]

Voltaje nominal de la celda	Típico final de descarga	Voltaje máximo de carga	Notas
3.6V	2.8-3.0V	4.2V	Voltaje nominal clásico.
3.7V	2.8-3.0V	4.2V	Alcanzado por baja resistencia interna.
3.8V	2.8-3.0V	4.35V	El cargador debe tener un voltaje correcto de carga completa para mayor capacidad.

3.85V	2.8-3.0V	4.4V	Recubrimiento de superficies y aditivos electrolíticos. El cargador debe tener un voltaje correcto de carga completa para mayor capacidad.
-------	----------	------	--

La carga de las celdas a voltaje mayores a los permitidos disminuye la vida útil de la batería y aumenta el riesgo de explosión, por lo cual se debe conocer el material con la que se encuentra combinada la batería de Litio por ejemplo, la de litio-fosfato tiene como voltaje nominal de 3.2V/celda - 3.3V/celda mientras el voltaje por celda de la batería de titanato de litio es de 2.4V. Debido a la diferencia de voltajes la carga de este tipo de baterías hace que sea incompatible con un cargador de baterías de Li-ion regular (Li-cobalto, Li-níquel, Li-manganeso, Li-aluminio) [20].

Curva de carga de la batería de litio

En la Figura 1.10 se muestra la curva de carga de la batería de litio donde se observan las etapas de carga de la batería. En la primera etapa se carga a la batería a corriente constante, mientras en la segunda etapa se mantiene el voltaje constante. La corriente disminuye hasta llegar a un valor entre 3-5% de la corriente con lo cual se completa la carga [20].

No es recomendable cargar la batería con una corriente de carga alta a pesar de que se alcanza el pico de voltaje en menor tiempo se genera un incremento en el tiempo de la carga de saturación. La carga a corrientes altas hace que se llegue al 70% en menor tiempo. La mejor forma de evitar que el voltaje a circuito abierto disminuya es cumplir con la etapa de saturación en su totalidad [20].

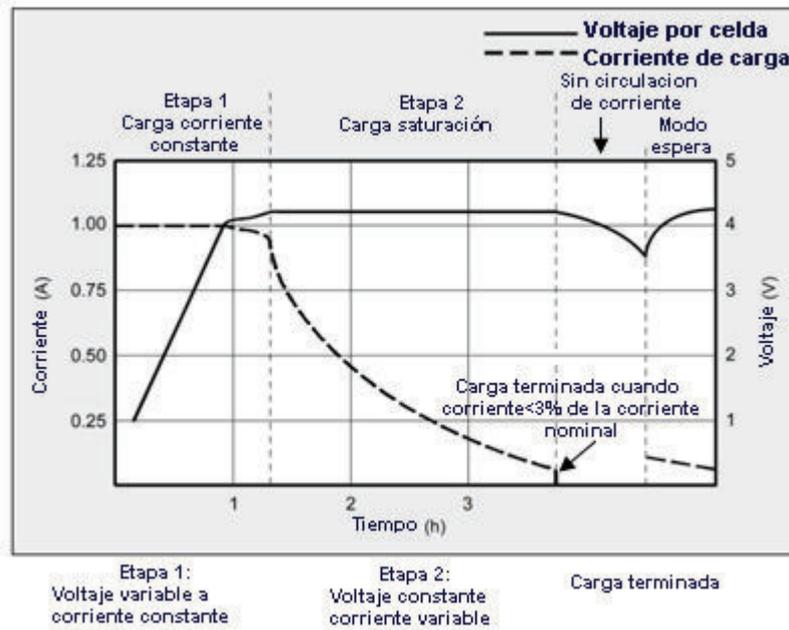


Figura 1.10. Curva de carga de la batería Li- ion [20]

En la Figura 1.11 se muestra la capacidad de carga de una batería de litio- ion en función del tiempo de carga para una tasa de carga de 1C.

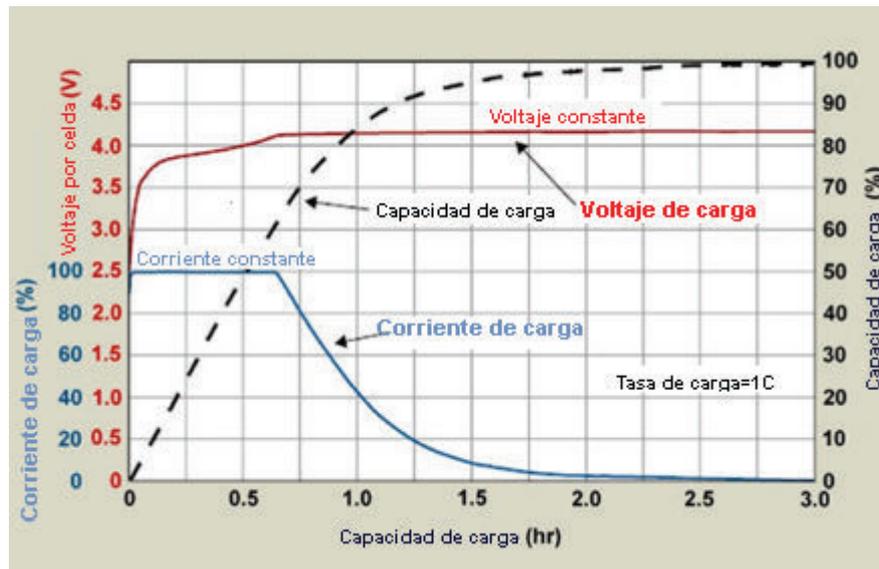


Figura 1.11. Capacidad de carga-Corriente de carga-Voltaje de la celda Vs tiempo de carga batería de Litio [20]

Método de carga de la batería de litio

Para la carga de las baterías de litio se debe seguir la curva de carga de la batería proporcionada por el fabricante tomando en cuenta las etapas que se muestran en la Figura 1.10, sin embargo, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones para que la vida útil de la batería no disminuya y con el fin de disminuir riesgos en la estabilidad de la batería tales como:

- No se debe tener conectada la carga o encendido el sistema para que la batería no sea confundida con cargas parásitas.
- No se debe cargar ni descargar a temperaturas elevadas ($T > 45^{\circ}\text{C}$),
- No es necesaria la carga completa, cargas parciales benefician a la vida útil de la batería.

Las baterías de iones de litio pueden incendiarse principalmente por elevadas temperaturas y no dan avisos previos para un fallo (pueden ocultar fallos a la vez que proporcionan un rendimiento continuo). Es recomendable monitorear la batería cuando se encuentra en uso o por medio funciones de diagnóstico incluidas en los cargadores de estas [20].

No es recomendable una carga ultrarrápida, una carga dura o una carga por congelación ya que se producen dendritas y esto puede generar una alta auto descarga en la batería de Li-ion [20].

Se recomienda bajar la tensión de carga para disminuir el desvanecimiento de la capacidad cumpliendo lo siguiente:

- Voltaje en la batería del 100-70% de la capacidad total de la celda comúnmente 4.2V/celda, en algunos casos se puede tener 4.35V/celda o superior dependiendo de la batería [20].
- Voltaje en la batería de 70-50% reduce el voltaje límite a 4.15V/celda, en las celdas de 4.35V/celda se reduce a 4.25V/celda [20].
- Voltaje en la batería del 50% o menor se reduce el voltaje a 3.8V/celda [20].

Duración de la batería de litio

La duración de la batería se podría calcular idealmente por medio de la ley de eficiencia coulombiana es decir que, si se demora una hora en cargar 5A, se debería descargar 5A en una hora o a su vez si se tiene un consumo de 1A esta debería durar 5 horas. Sin embargo, debido a pérdidas intrínsecas y al aumento de carga que genera una descarga a altas corrientes provocan que la batería pierda eficiencia por lo cual el cálculo de la capacidad de la batería, así como de la potencia de descarga se lo hace usando la trama de Ragone [20].

La trama de Ragone permite conocer el tiempo de ejecución en minutos y horas, es decir con esta trama se puede seleccionar la batería adecuada que cumpla con la potencia de descarga en el tiempo de ejecución requerido. En la Figura 1.12 se observan cuatro sistemas de ion de litio con 18650 celdas, en el eje horizontal se tiene la energía en vatios-hora (Wh), en el eje vertical esta la potencia en vatios (W) y en las líneas diagonales se

tiene el tiempo que las baterías pueden brindar energía dependiendo de las condiciones de carga [20].

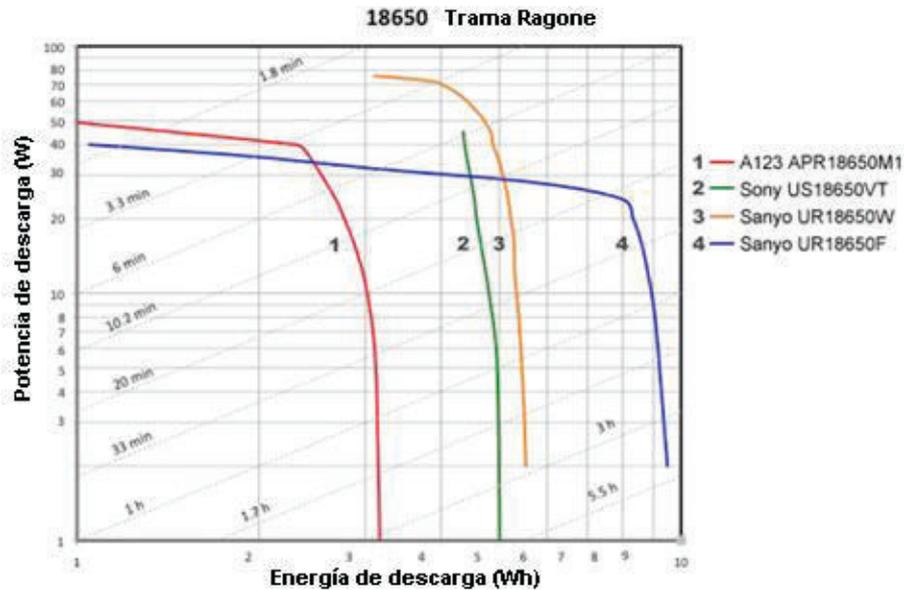


Figura 1.12. Trama de Ragone para 4 sistemas de ion litio [20]

Analizando la figura anterior se puede observar algunas características entre las baterías, por ejemplo, si se quiere una energía específica muy alta la batería ideal sería la Sanyo UR18650F y la batería con menor energía específica es la A123APR 18650M1.

Baterías de polímero de litio (LIPO)

Las baterías de polímero de litio se diferencian de las de ion litio normal en que se usa un electrolito microporoso en lugar de un separador poroso, además puede ofrecer un poco más de energía con un menor tamaño. La desventaja es el costo más elevado en células de bolsa como se observa en la Figura 1.13 (a) y (b) a diferencia de las de ion litio que son cilíndricas como se observa en la Figura 1.13 (c) [21].

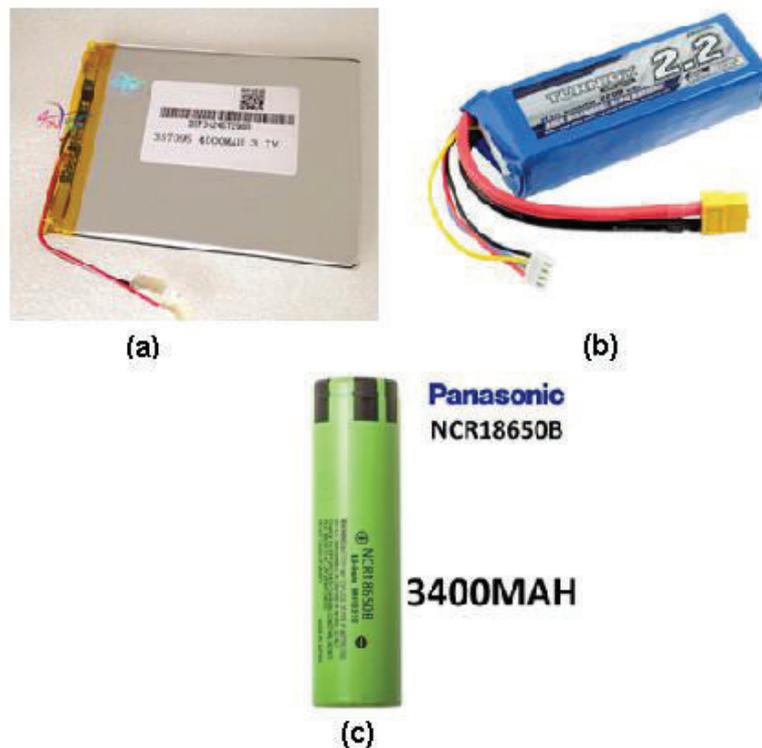


Figura 1.13. (a)Batería LIPO 4A - 3.7V. (b) Batería LIPO 2.2A -11.1V (c) Batería ion litio 3.4A - 3.7V

Las baterías de ion litio requieren de una carcasa rígida para presionar los electrodos, mientras las lipo están hechas de láminas laminadas que no necesitan estar comprimidas además gracias a esto pueden ser tan delgadas como una tarjeta de crédito. La carga y descarga de ambas baterías es igual, por ende, no requieren de un cargador diferente y se deben tener las mismas protecciones, sin embargo, las baterías de ion litio tienen mayor duración y son más seguras gracias a su carcasa [20]. Se tienen dos tipos de batería lipo los cuales son:

Electrolito de polímero sólido

Los electrolitos de polímero solido son una alternativa a los electrolitos líquidos, debido a que son menos reactivos con el Litio por lo cual son más seguros, tienen igual o más alto transporte de iones de Litio, además funcionan a temperaturas más altas (60°C a 100°C) con lo cual se compensa la menor conductividad iónica, esto se da ya que están formados por la incorporación de sales de Litio en las matrices del polímero que a su vez están fundidas en películas delgadas las mismas que actúan como electrolito y separador. Al estar formados por películas delgadas es más fácil su diseño y se logra tener variedad de configuraciones [20].

Electrolito de polímero gelicado

Los electrolitos de polímero gelicado tiene mayor conductividad iónica que un electrolito de polímero sólido como se observa en la Figura 1.14 y un más alto transporte de iones de Litio, pero estos electrolitos plastificados y gelicados son más reactivos con el Litio que los electrolitos sólidos (SPE). Estos electrolitos están formados por soluciones de electrolitos líquidos que son incorporados a la porosidad del polímero por medio de reticulación (puede realizarse por radiación ultravioleta), gelificación y fundición [21].

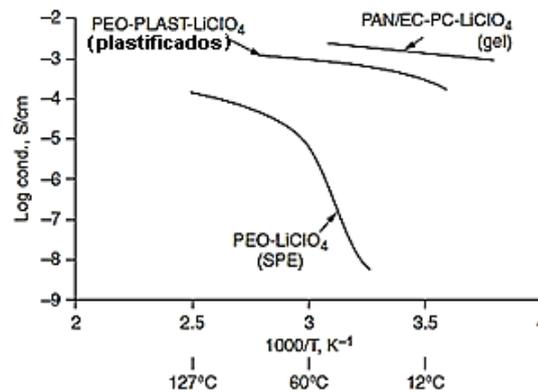


Figura 1.14. Variación de la conductividad iónica de algunos tipos de baterías en función de la temperatura [21]

Convertidores estáticos de energía para gestión de energía

Los sistemas de gestión de energía necesitan de fuentes de alimentación de alta calidad que sean pequeñas y livianas, que tengan fuentes de energía de mejores características para llegar a ser más eficientes y portátiles.

Convertidor DC-DC

Los convertidores DC-DC permiten convertir una entrada de voltaje DC a una salida de voltaje DC, también son usados con otros propósitos, como:

- Reducción del rizado en las señales de DC muchas veces obtenidas de una conversión previa de una señal AC en DC [22].
- Aislamiento entre la fuente de entrada y la carga, entre otros beneficios [22].

En la Figura 1.15 se observa un convertidor DC-DC reductor de carga resistiva, por medio del interruptor se bloquea la tensión y se obtiene corriente unidireccional. El interruptor puede ser un MOSFET de potencia, un IGBT, un TBJ de potencia, dependiendo de las características eléctricas y electrónicas que se requieran en la aplicación. Al utilizar diodos en antiparalelo al interruptor electrónico se tiene la propiedad bidireccional [22].

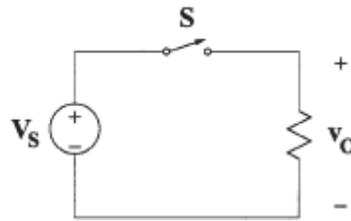


Figura 1.15. Convertidor DC-DC reductor [22]

En la Figura 1.16 se tiene las formas de onda del circuito de la Figura 1.15, donde se observa la salida de voltaje DC mientras el interruptor se encuentra operando con una relación de trabajo δ [22]. La relación de trabajo es la relación entre el tiempo de encendido y el período como se muestra en la Ecuación 1.4.

$$\delta = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T}$$

Ecuación 1.4. δ -Relación entre t_{on} y t_{off} [22]

Donde:

t_{on} = Tiempo de encendido del interruptor electrónico (s)

t_{off} = Tiempo de apagado del interruptor electrónico (s)

T = Período de conmutación(s) ($f = 1/T$)

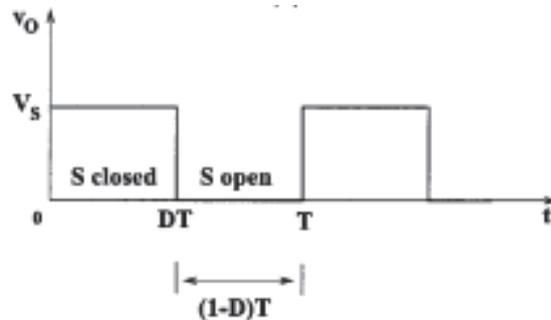


Figura 1.16. formas de onda del convertidor DC-DC reductor [25]

Reductores (Buck)

Los convertidores reductores pueden tener un voltaje de salida máximo igual al voltaje de entrada. Este convertidor puede actuar en modo continuo (MCC) y discontinuo (MCD) de acuerdo con la corriente que circula por el inductor. En la Tabla 1.4 se tiene un cuadro con las principales características de los dos modos de operación del convertidor reductor RL. En la Figura 1.17 (a) se observa el convertidor reductor con el Switch cerrado, mientras en la Figura 1.17 (b) se tiene al convertidor reductor con el Switch abierto [2].

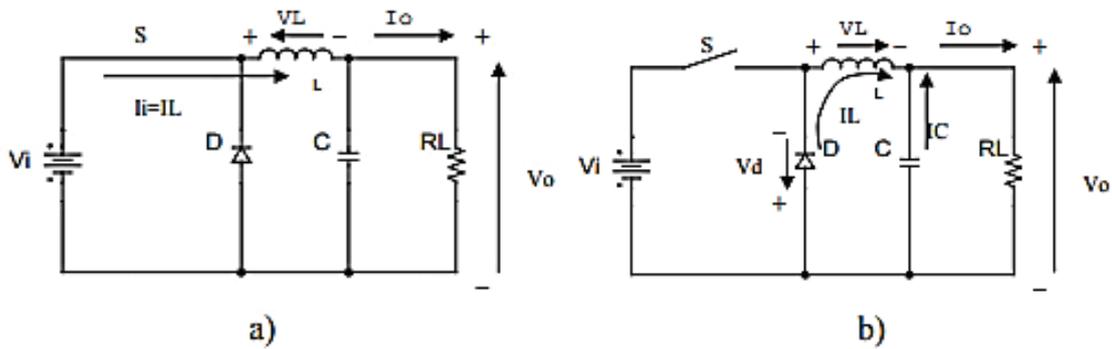


Figura 1.17. Convertidor reductor topología RL: (a) Interruptor cerrado S (b) Interruptor abierto S [2]

Tabla 1.4. Características del convertidor reductor RL del MCC y MCD [2]

Característica	Modo continuo	Modo discontinuo
Corriente del inductor	Diferente de cero cuando el Switch está abierto.	Igual a cero cuando el inductor se satura con el Switch abierto.
Voltaje de salida	El voltaje permanece constante en todo el período.	El voltaje permanece constante hasta que la corriente sea cero.
	$V_o = \delta V_i$	
Análisis con interruptor cerrado	En el instante inicial de cierre del interruptor se tiene una corriente mínima del inductor.	
	$\Delta I_L = \frac{V_i}{L} \delta T$	
	El diodo se polariza inversamente y la corriente circula por el inductor.	El inductor trata de invertir la corriente, pero el diodo lo impide.
Análisis con interruptor abierto	El inductor invierte la corriente	
	$\Delta i_L = \frac{V_o}{L} (1 - \delta) T$	
	La variación de corriente mínima en el inductor es igual a la corriente mínima en el inductor I_{Lmin} más la corriente inicial I_{Lo}	La variación de corriente en el inductor decrece hasta alcanzar el valor de cero.

En la Figura 1.18 se muestran las formas de onda del voltaje (V_L), corriente en la fuente (i_i) y corriente en la salida (i_o) cuando el convertidor está trabajando en modo continuo.

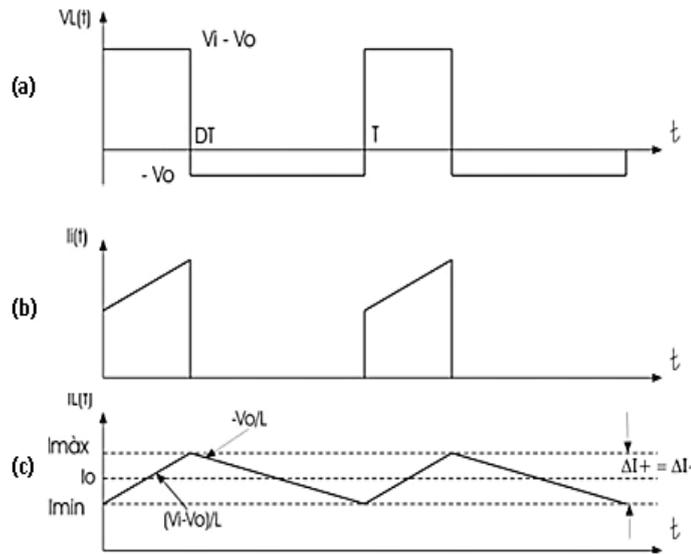


Figura 1.18. Formas de onda del convertidor reductor RL en modo continuo. (a) Voltaje en el inductor. (b) Corriente en la fuente. (c) Corriente de salida [2]

En la Figura 1.19 (a-1) se observa el voltaje en el inductor y en la Figura 1.19 (b-1) la corriente en el inductor en conducción continua. En la Figura 1.19 (b-2) la corriente del inductor se anula al final del periodo llamado modo de conducción crítica donde la corriente del inductor es igual a la mitad de la variación de la corriente en el inductor y en Figura 1.19 (b-3) la corriente en el inductor se reduce hasta alcanzar el valor de cero lo que provoca el modo de conducción discontinuo [2].

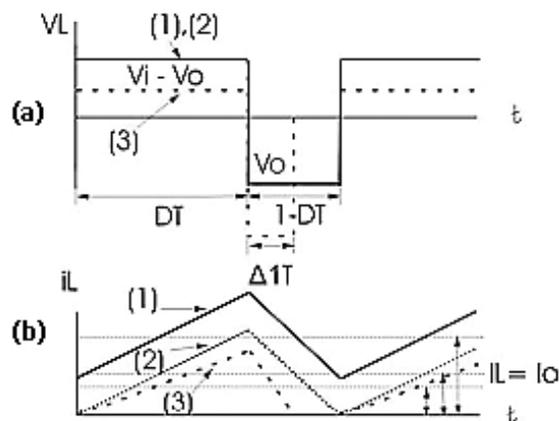


Figura 1.19. Formas de onda del convertidor Reductor. (a) Voltaje en el inductor, (b) Corriente en el inductor: (1) Modo conducción continuo. (2) Modo conducción crítica. (3) Modo conducción discontinuo [2]

Elevadores (Boost)

El convertidor elevador permite tener un voltaje de salida superior al voltaje de entrada, la potencia de salida es un ligeramente menor a la de la fuente de alimentación siendo la diferencia entre las dos el rendimiento del convertidor. En la Figura 1.20 se observa el circuito de un convertidor en topología RL [2].

La Tabla 1.5 muestra las características del MCC y MCD del convertidor elevador en topología RL.

Tabla 1.5. Características del convertidor elevador RL del MCC y MCD [2]

Característica	Modo continuo	Modo discontinuo
Corriente del inductor en la conmutación	Diferente de cero cuando el Switch está abierto.	Igual a cero cuando el inductor se satura con el Switch abierto.
Voltaje de salida	El voltaje permanece constante en todo el período.	El voltaje permanece constante hasta que la corriente sea cero.
	$V_o = \frac{V_i}{(1 - \delta)}$	$V_o = \frac{V_i}{2} + \frac{V_i}{2} \sqrt{1 + \frac{2\delta^2 R}{L} T}$
Análisis con interruptor cerrado	El voltaje de entrada cae sobre el inductor. El diodo se encuentra polarizado inversamente con el voltaje de salida, mientras el capacitor da la corriente a la carga.	
	$\Delta I_L = \frac{V_i}{L} \delta T$	
	El diodo se polariza inversamente y la corriente circula por el inductor.	El inductor trata de invertir la corriente, pero el diodo lo impide.
Análisis con interruptor abierto	Se descarga la energía por medio del diodo. El diodo se polariza directamente y el voltaje en el inductor es igual a la resta del voltaje de entrada menos el de salida. El incremento de corriente en S_{on} es igual al decremento de corriente S_{off} .	
	$\Delta i_L = \frac{(V_i - V_o)}{L} \delta T$	
	La variación de corriente mínima en el inductor es igual a la corriente mínima en el inductor I_{Lmin} más la corriente inicial I_{Lo}	El voltaje de salida aumenta para solo si se reduce la variación de corriente, aumentando también la corriente en el inductor.

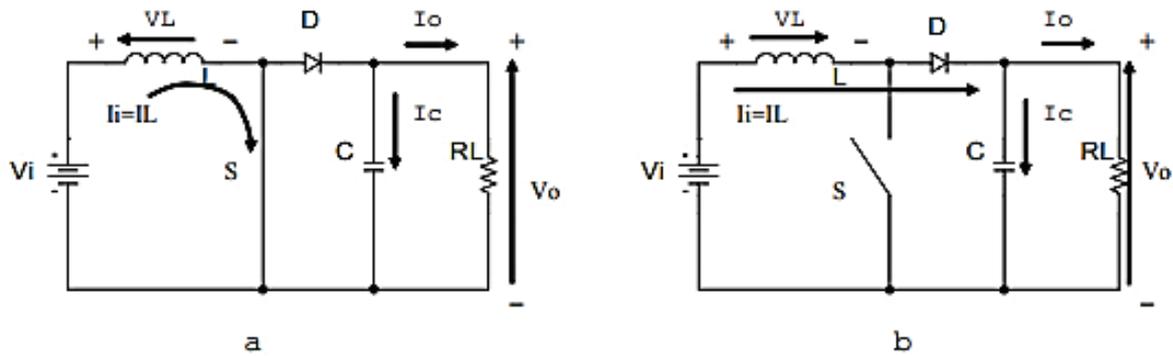


Figura 1.20. Convertidor elevador en topología RL: (a) Interruptor cerrado S. (b) Interruptor abierto S [2]

En la Figura 1.21 (a) se observa la curva de voltaje del inductor, Figura 1.21 (b) se tiene la curva de corriente en el inductor y en la Figura 1.21 (c) se observa la curva de corriente en la salida.

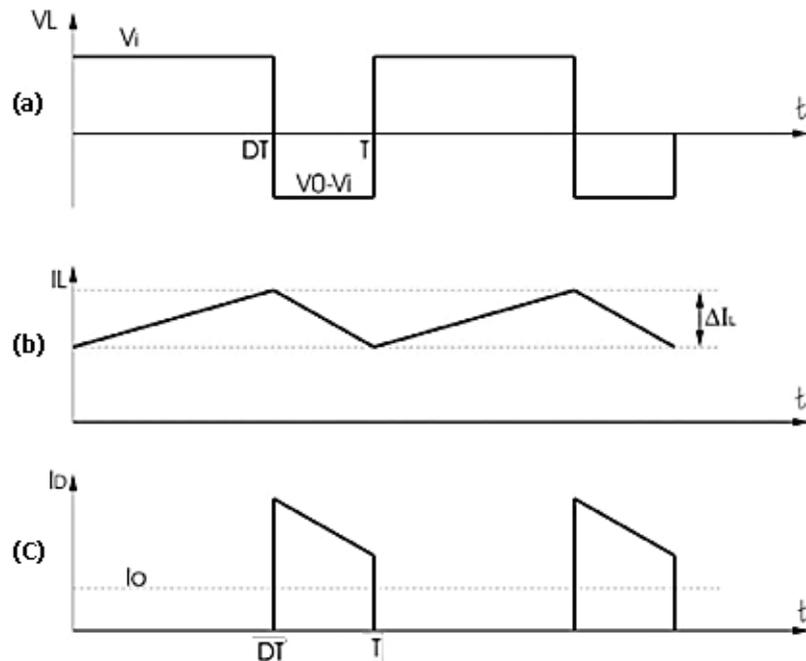


Figura 1.21. Formas de onda del convertidor elevador RL en modo continuo. (a) Voltaje en el inductor. (b) Corriente en la fuente. (c) Corriente de salida [2]

En la Figura 1.22 (a-1) se observa el voltaje en el inductor y en la Figura 1.22 (b-1) la corriente en el inductor en conducción continua. En la Figura 1.22 (a-2), (b-2) se observa como el voltaje en el inductor permanece constante, mientras la corriente en el inductor decrece y en Figura 1.22 (a-3), (b-3) la corriente en el inductor se reduce hasta alcanzar el valor de cero lo que provoca el modo de conducción discontinuo. [2]

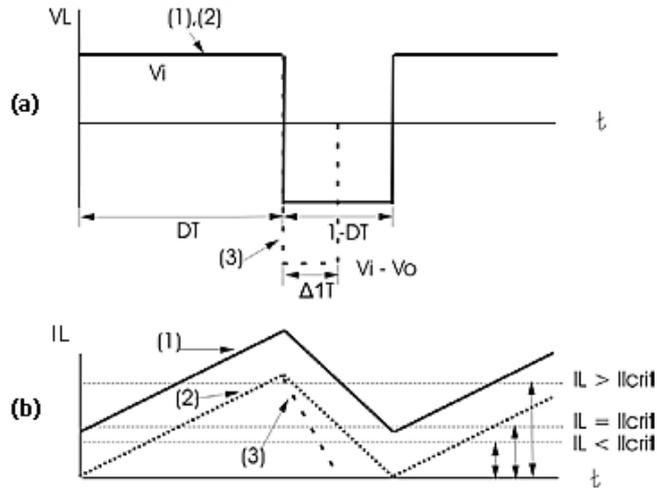


Figura 1.22. Formas de onda del convertidor elevador topología RL. (a) Voltaje en el inductor, (b) Corriente en el inductor: (1) Modo conducción continuo. (2) Modo conducción crítico. (3) Modo conducción discontinuo Formas de onda del convertidor elevador (1) MCC (2) Modo crítico (3) MCD [2]

Reductor-Elevador (Buck&Boost)

En la Figura 1.23 se muestra el convertidor reductor-elevador. Este convertidor actúa como reductor mientras el interruptor se encuentre cerrado y cuando el interruptor se abre actúa como elevador [23].

En la Tabla 1.6 se explican las principales características del convertidor reductor-elevador.

Tabla 1.6. Características del convertidor reductor-elevador RL [23]

Característica	Interruptor Cerrado	Interruptor abierto
Corriente del inductor	<p>Corriente en el inductor aumenta con el diodo apagado.</p> $\Delta I_L = \frac{V_i}{L} \delta T$	<p>El diodo activado permite que circule corriente por el inductor haciendo que la corriente llegue a la carga.</p> $\Delta I_L = -\frac{V_o(1-\delta)}{L} T$
Voltaje de salida	<p>Cuando $\delta < 0.5$ el convertidor actúa como reductor, mientras cuando $\delta > 0.5$ el convertidor actúa como elevador. El voltaje del reductor-elevador es igual a:</p> $\frac{V_o}{V_i} = \frac{\delta}{(1-\delta)}$	

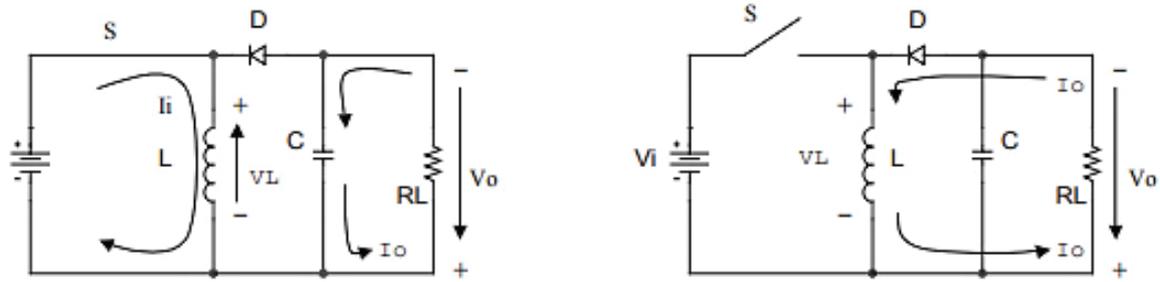


Figura 1.23. Convertidor reductor-elevador topología R: (a) Interruptor cerrado S. (b) Interruptor abierto S [2]

En la Figura 1.24 (a) se observa el voltaje en el inductor, en la Figura 1.24 (b) se observa la corriente en el inductor y en la Figura 1.24 (c) se observa la corriente en el capacitor. En este convertidor también se puede trabajar en modo continuo y discontinuo que puede ser analizado de manera similar al convertidor reductor y elevador antes descritos.

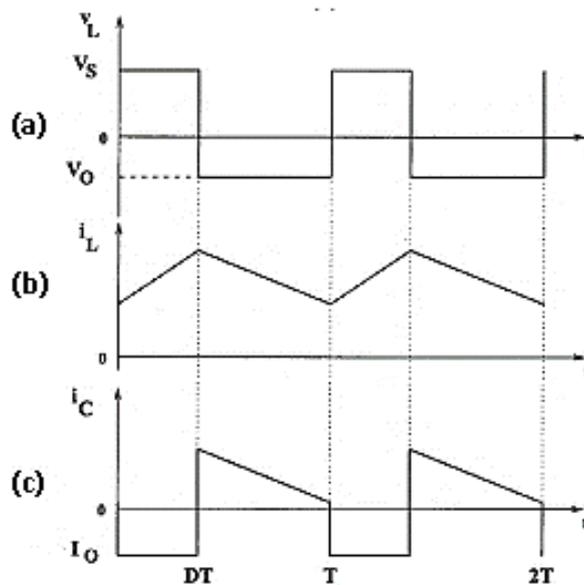


Figura 1.24. Formas de onda del convertidor reductor-elevador topología RL: (a) voltaje en el inductor. (b) corriente en el inductor. (c) Corriente en el capacitor[22]

Convertidores comerciales DC-DC

Los convertidores comerciales que se han utilizado en este proyecto son los que se describen a continuación. No se detalla el funcionamiento de cada convertidor ya que es similar a los convertidores descritos anteriormente.

Convertidor Buck LM2596

El convertidor Buck LM2596 es un regulador del tipo conmutado. Permite tener un voltaje de salida variable por medio del potenciómetro que se observa en la Figura 1.25 y en la

Tabla 1.7 se tienen las características técnicas del convertidor. Se tiene un voltaje de rizado muy bajo y una buena regulación [24].

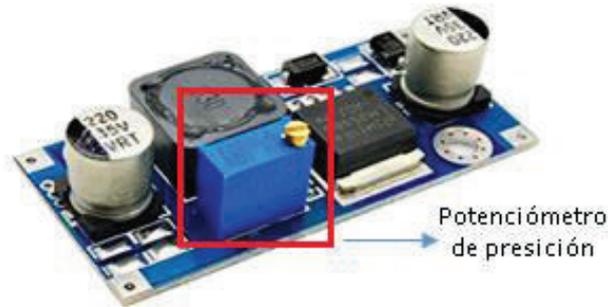


Figura 1.25. Convertidor comercial Buck LM2596 [25]

Tabla 1.7. Características técnicas del convertidor Buck LM2596 [24]

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max)	2.8-40 V
Vout (Min-Max)	1.25-25 V
Iout (Max)	3 [A]
N° Salidas Reguladas	1
Frecuencia de Switching (Min-Max)	65 KHz
Control Mode	Voltaje
Eficiencia de conversión	92% (más alta)
Temperatura de Operación	-40 a 125

Convertidor Boost XL6009

El convertidor Boost XL6009 es un regulador de tipo conmutado que entrega una tensión de salida constante superior al voltaje de entrada ante variaciones de voltajes de entrada y carga, el potenciómetro que se observa en la Figura 1.26 permite seleccionar el voltaje de salida. Tiene alta eficiencia de conversión con bajo rizado y una excelente regulación. Las características técnicas se muestran en la Tabla 1.8 [26].

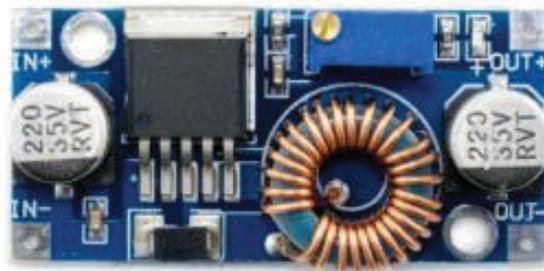


Figura 1.26. Convertidor comercial Boost XL6009

Tabla 1.8. Características técnicas del convertidor Boost XL6009 [27]

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max)	3.8-32 V
Vout (Min-Max)	1.25-35 V
Iout (Max)	3 [A]
N° Salidas Reguladas	1
Frecuencia de Switching (Min-Max)	400 KHz
Control Mode	Voltaje
Eficiencia de conversión	<94%
Temperatura de Operación	-40 a 85 °C

Convertidor Buck&Boost LTC3780

El convertidor Buck&Boost es un regulador de tipo conmutado elevador-reductor de alta eficiencia con un voltaje de rizado bajo. Posee tres potenciómetros como se muestra en la Figura 1.27 uno para regular el voltaje de salida constante (CV), otro para tener un límite de salida de corriente (CC) y el último para proteger de voltajes de entrada bajos (UV) que se indican en la parte inferior de la placa.

Este convertidor proporciona el voltaje constante hasta alcanzar el valor de corriente seteado en el potenciómetro CC, al sobrepasar esta corriente el módulo reduce el voltaje para auto protegerse, además cuando el voltaje de entrada es menor al UV se corta la alimentación. En la Tabla 1.9 se muestra las principales características de este convertidor [28].

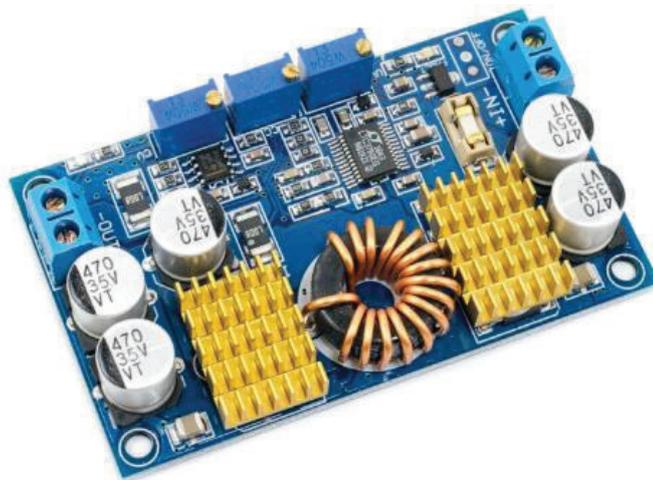


Figura 1.27. Convertidor comercial Buck&Boost LTC3780 [28]

Tabla 1.9. Características técnicas del convertidor Buck-Boost LTC3780 [29]

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max)	5-32 V
Vout (Min-Max)	1-30 V
Iout (Max)	8 [A]
N° Salidas Reguladas	3 (CV-CC-UV)
Frecuencia de Switcheo (Min-Max)	65 KHz
Control Mode	V de salida-Corriente carga-V de entrada
Eficiencia de conversión	<94%
Temperatura de Operación	-40 a 85 °C

Convertidor AC/DC Switching Power Supply Board

El convertidor AC-DC comercial Switching Power Supply Board se muestra en la Figura 1.28, tiene alta eficiencia y es muy confiable, cuenta con protecciones contra sobre corriente, sobrecarga y protección contra cortocircuitos. En la Tabla 1.10 se muestran las principales características del convertidor AC-DC comercial utilizado. [30]

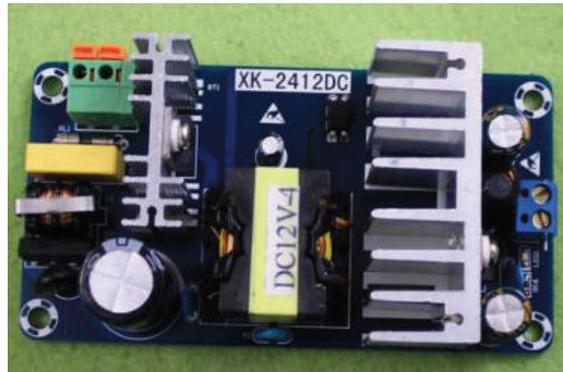


Figura 1.28. Convertidor comercial AC-DC a 12V

Tabla 1.10. Características técnicas del convertidor AC/DC [30]

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIÓN
Vin (Min-Max) (CA)	85-265 V
Vout (Min-Max)	24 V
Iout (Max)	6-8[A]
N° Salidas Reguladas	0
Frecuencia de CA	50-60Hz
Voltaje de rizado	<=200mV
Temperatura de Operación	-40 a 85 °C

Sistemas digitales para administración de energía

En la administración de energía se requiere de sistemas digitales para la transmisión, generación, procesamiento y almacenamiento de datos obtenidos desde los sensores que se encuentran en el proceso. Las señales digitales o analógicas proporcionadas por los sensores requieren de acondicionamiento para ingresar al sistema micro procesado a ser utilizado.

Estos sistemas ofrecen información sobre las variables relevantes del sistema, para su posterior tratamiento y análisis, con esta información se puede tener [31]:

- Datos de consumo en tiempo real.
- Alarmas.
- En los mejores sistemas se realiza un análisis de calidad de la energía [31].

Cuando se implementan estos sistemas se aprovechan al máximo los recursos proporcionados para minimizar la inversión [31].

Acondicionamiento de señales

El acondicionamiento de señales permite convertir una señal electrónica en otro tipo de señal, se utiliza principalmente para cambiar una señal de difícil lectura en una que pueda ser tratada en un sistema micro procesado con mayor facilidad. El proceso de acondicionamiento puede pasar por las siguientes etapas [32].

- **Amplificación:** En esta etapa la señal puede aumentar su magnitud o disminuirla dependiendo de la ganancia que adquiera el amplificador, en la Figura 1.29 se muestran las configuraciones más comunes de amplificadores.
- **Aislamiento eléctrico:** Esta etapa es necesaria para romper la ruta galvánica entre la señal de entrada y la señal de salida [32].
- **Linealización:** Se usa en señales no lineales como las de los termopares para tener una salida lineal [32].
- **Compensación de unión fría:** Usada principalmente para evitar fluctuaciones de temperatura por ejemplo en los termopares.
- **Excitación:** Esta etapa se realiza cuando se necesita excitar al sensor para producir la señal de entrada por ejemplo en los calibradores de tensión o RTDs [32].

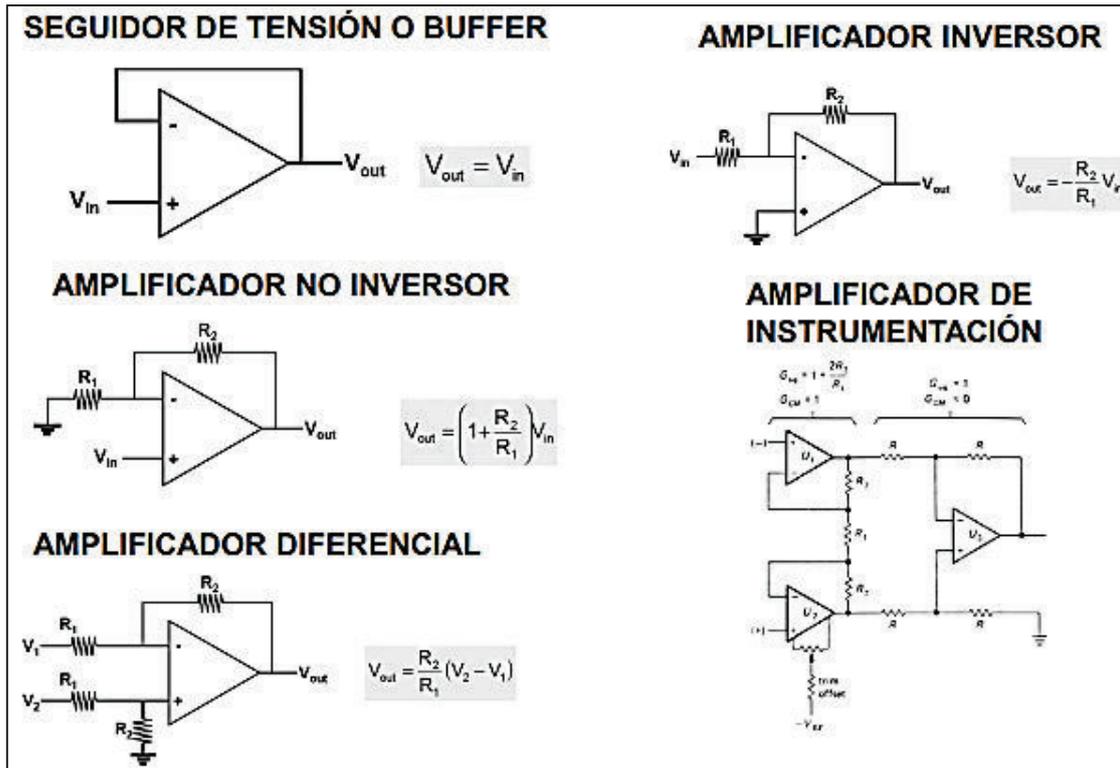


Figura 1.29. Amplificadores de señal básicos [33]

Sistemas micro procesados para administración de energía

Los sistemas micro procesados en administración de energía son indispensables para el procesamiento de las señales adquiridas por los sensores que verifican el estado del sistema.

El microprocesador se elige dependiendo de las necesidades del sistema o aplicación orientada, tratando de optimizar la mayor cantidad de recursos, por ejemplo, los microcontroladores Atmel, Arduino, PIC, etc., en este proyecto se van a utilizar los microcontroladores Atmel AVR.

HMI

Es necesario un HMI o alguna interfaz que permita visualizar las alarmas o las variables relevantes del sistema. Una interfaz amigable con el usuario se puede realizar a través de las pantallas Nextion ya que cuentan con su propio sistema micro procesado y tienen la capacidad de realizar múltiples tareas. Además, cuenta con un software propio para su programación de fácil entendimiento. En la Figura 1.30 se muestra un ejemplo de pantallas Nextion.



Figura 1.30. Pantalla Nextion de 5" [34]

El software para la programación de la pantalla es Nextion Editor, para cargar un programa en la pantalla es necesario que este sea guardado previamente en un microSD para ser colocado en la pantalla hasta que este sea almacenado en la memoria interna de la pantalla y posteriormente esta tarjeta sea retirada, luego, la pantalla empieza a funcionar como un HMI.

2. METODOLOGÍA

En el presente proyecto la investigación realizada es de tipo aplicada, ya que mediante el desarrollo de un sistema de administración de energía se plantea una solución a la problemática existente de la falta de una correcta administración de energía en equipos del Laboratorio de UAVs y Aplicaciones Óptica como se describió previamente en la problemática de este trabajo.

El presente trabajo consta de las siguientes fases metodológicas: fase teórica desarrollada en el primer capítulo, en el cual se realiza una investigación de los conceptos referentes a fuentes de alimentación y convertidores estáticos de energía tanto su funcionamiento como los que se encuentran en el mercado; la fase de diseño e implementación se desarrolla a continuación en el presente capítulo en el cual se realiza el diseño de todas las partes constitutivas de este proyecto y del software de control para el mismo; la fase de pruebas de funcionamiento se encuentra en el capítulo tres en el cual se presentan los resultados de las pruebas de funcionamiento de las diferentes partes desarrolladas tanto de hardware como de software comprobando la potencia que puede entregar el equipo, las alarmas que se generan y la carga de las baterías.

Sistema Micro controlado

El sistema de administración de energía implementado requiere de un microcontrolador para la adquisición y tratamiento de datos, para el control de accionamientos, para la generación y la visualización de alarmas, entre otras actividades. Se realiza un análisis de recursos necesarios para cumplir las necesidades energéticas del sistema electrónico.

Se optó por los sistemas micro procesados Atmega en SMD, debido a las prestaciones y a la familiaridad con la programación que se tiene y de acuerdo con la serie del microprocesador se pueden acceder a diferentes características dentro de la misma serie.

Debido a que el sistema electrónico está formado por dos partes se requiere de un análisis de recursos dependiendo de la necesidad de cada una, como se muestra a continuación.

Análisis de recursos para la primera etapa

En la Tabla 2.1 se observa que se requiere un microcontrolador que posea mínimo 8 entradas analógicas, 12 salidas digitales, un timer y dos canales de comunicación USART, con lo cual un Atmega 164P cumple con los requisitos necesarios, las principales características del microcontrolador se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.1. Análisis de recursos para selección del microcontrolador parte uno

Actuador, sensor, etc.	Entrada analógica	Entrada digital	Salida digital	Salida PWM	Comunicación
Switch Electrónicos			11		
Corriente panel solar	1				
Voltaje panel solar	1				
Corriente batería de respaldo	1				
Temperatura	1				
Voltaje celdas batería de respaldo	3				
Voltaje bus DC	1				
Señal control convertidor DC-DC				1	
Ventilador			1		
Detección batería carro		1			
Detección red eléctrica		1			
Comunicación entre microcontroladores					2
Comunicación Pantalla					2

Análisis de recursos para la segunda etapa

Tabla 2.2. Análisis de recursos para selección del microcontrolador parte dos

Actuador, sensor, etc.	Entrada analógica	Entrada digital	Salida digital	Salida PWM	Comunicación
Switch Electrónicos			7		
Corriente bus DC	1				
Corriente de la batería parte 2	1				
Voltaje bus DC	1				
Temperatura	1				
Voltaje celdas batería de respaldo	3				
Señal control convertidor DC-DC				1	
Ventilador			1		
Aviso estado de batería (LED)			2		
Comunicación entre microcontroladores					2

La Tabla 2.2 muestra que se requieren de 7 entradas analógicas, 10 salidas digitales, un timer y un canal de comunicación USART como mínimo, un Atmega328P cumple las necesidades de la etapa dos y las principales características del microcontrolador se muestran en la Tabla 2.3.

Atmega 164P-Atmega328P

Tabla 2.3. Características del microcontrolador Atmega164P - Atmega328P [35],[36]

CARACTERÍSTICAS	ATMEGA 164P-SMD	ATMEGA328P-SMD
Voltaje de operación	1.8V-5.5V	1.8V-5.5V
UART	2	1
Timers	3	3
Canales PWM	6	6
Entradas analógicas	8	8
Entradas-salidas digitales	32	23

En la Figura 2.1 se muestra el Atmega 164P y el Atmega 328P en empaquetado SMD. Se utiliza este empaquetado con el fin de optimizar el espacio debido a la necesidad de que el equipo sea portátil.

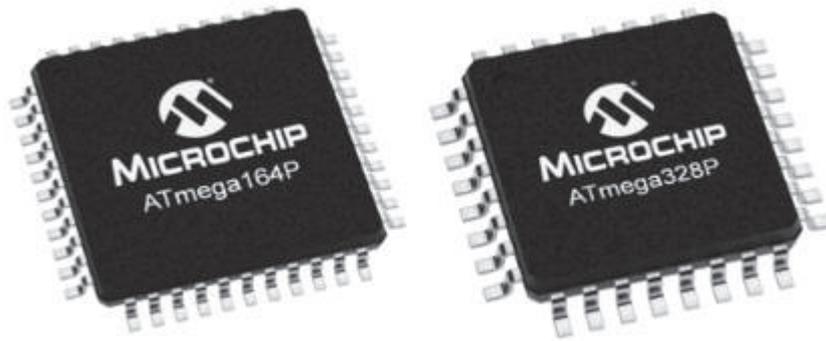


Figura 2.1. Microcontrolador Atmega 164P-Atmega 328P [36], [37].

Convertidores comerciales

Los convertidores comerciales se utilizan para la alimentación del sistema, para control de carga de las baterías y para proporcionar energía con salidas normalizadas de 5V y 12V a la carga. A continuación se detalla con qué fin se utiliza cada convertidor comercial los mismos que se encuentran detallados en la Tabla 1.4, Tabla 1.5 y Tabla 1.6.

El módulo AC-DC se usa para el suministro de energía por parte de la red eléctrica. El módulo reductor alimenta los microcontroladores con 5V. El módulo elevador es la fuente de alimentación para la activación de los switches electrónicos a 30V y 20V. Dos módulos Buck-Boost permiten la carga y descarga de la batería lipo y otro para la conexión de las 3 fuentes de alimentación y para mantener el bus DC constante.

En la Figura 2.2 se muestra la conexión de los convertidores con microcontrolador Atmega 164P. Para el Atmega 328P se tiene la misma distribución exceptuando las fuentes de alimentación.

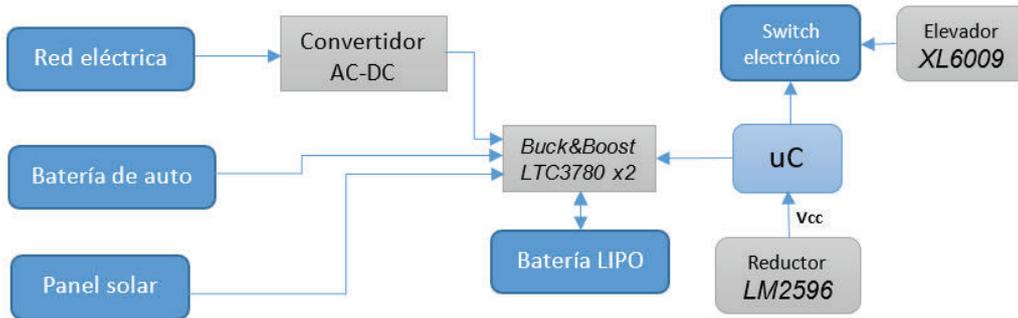


Figura 2.2. Distribución convertidores sistema de potencia portátil

Medición y acondicionamiento de variables

Corriente

Para realizar la medición de corriente en las diferentes partes del equipo se utilizan sensores de corriente de efecto hall los cuales como se puede ver en la Figura 2.3 consta de un integrado ACS712, dos capacitores como filtros alimentados con un voltaje de 5V y brinda un rango de medición desde -5A a +5A con una salida de voltaje desde 1.5V a 3.5V (esto según la hoja técnica del elemento), presenta una señal de 2.5V a corriente 0A, estos 2.5V corresponden a la mitad del voltaje de alimentación del sensor. El acondicionamiento del sensor se lo realizó con un amplificador diferencial de ganancia unitaria esto ya que el sensor presenta una salida máxima de 3.5V la cual está dentro del rango además de que se incluyó un diodo Zener de 3.3V para protección de sobrevoltaje para protección de los pines de entrada del sistema micro procesado.

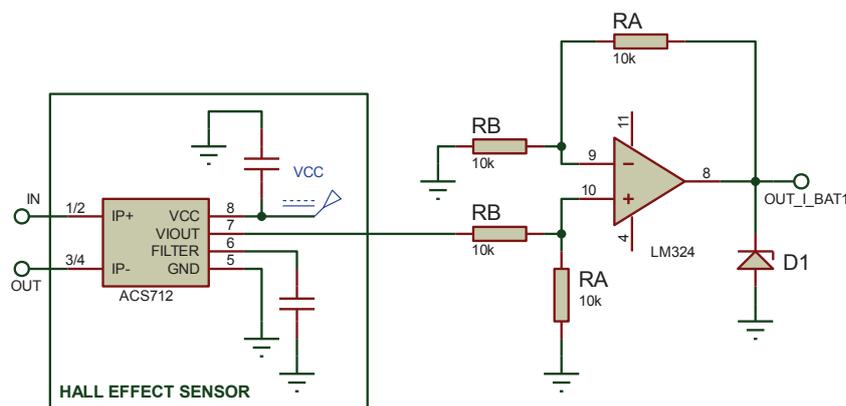


Figura 2.3. Circuito esquemático del sensor de corriente

Voltaje

Debido a que en el sistema implementado se realiza la medición de voltaje en diferentes puntos y algunos de los cuales no están referidos a tierra, se realiza el acondicionamiento de la variable voltaje con un amplificador diferencial como se muestra en la Figura 2.4. La ganancia del amplificador varía dependiendo del lugar que se va a realizar la medición teniendo diferentes puntos cuyo voltaje máximo, valores de las resistencias (RA y RB) junto

con la ganancia utilizada se muestra en la Figura 2.4. Además de que se adiciona un diodo zener limitante de voltaje a 3.3V.

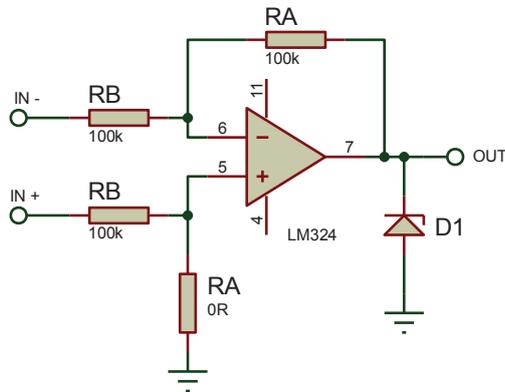


Figura 2.4. Circuito esquemático para sensado de voltaje

Tabla 2.4. Parámetros de los acondicionamientos de voltaje

Variable a Medir	Vmax [V]	RA [kΩ]	RB [kΩ]	Ganancia	Vo Max
Voltaje del panel	25	10	82	0,12	3,05
Voltaje del Bus DC	15	18	91	0,20	2,97
Voltaje celdas 1 y 2 LIPO	4,2	10	15	0,67	2,80
voltaje celda 3 LIPO	12,6	18	91	0,20	2,49

En la Tabla 2.4 se muestra el nombre de la variable que se va a medir, el valor de la ganancia que debe tener el amplificador diferencial corresponde al voltaje máximo que se presenta en dicha variable y el voltaje Vo máximo que se obtendrá con la ganancia del amplificador.

Dentro de las variables a medir se puede observar que el valor de las celdas 1 y 2 de la batería LIPO presentan una ganancia diferente a la de la celda 3, esto debido a que ante una conexión de la batería LIPO sin su correspondiente conector de acceso a las celdas de la misma se espera que en el voltaje diferencial positivo se tenga el voltaje máximo que puede alcanzar a batería que es 12.6V y en el voltaje diferencial negativo se tendrá 0V.

Por lo tanto, se tiene una ganancia inferior a la de las otras celdas, esto con el fin de obtener un voltaje que no sobrepase el voltaje máximo aceptado por el microcontrolador.

Temperatura

Para la medición de temperatura se empleó el sensor de temperatura LM35 cuya salida de voltaje es de 0.01V por cada grado centígrado. Este sensor presenta una salida de 0V a 0°C, para su acondicionamiento como valor de referencia de temperatura máxima los 100°C el cual tendrá un voltaje de salida del sensor de 1V. Con el fin de tener una

conectada al equipo es de 25V que corresponde al panel solar cuando sobre este incida una alta irradiancia, entonces al voltaje máximo se le debe sumar el voltaje mínimo que garantiza una activación de los mosfets.

Se emplea un convertidor elevador comercial el mismo que provee un voltaje de 30V, este es enviado a gate a través de un opto transistor como se puede observar en la Figura 2.7. Se activa por una señal procedente del microcontrolador la misma que tiene un valor de 5V, voltaje con el cual se realiza el cálculo de la resistencia R1 que activa al diodo del opto transistor con una corriente mínima de 5mA.

$$R_1 < \frac{5V}{5mA} < 1k\Omega$$

$$R_1 = 330\Omega$$

Además, debido a que el mosfet por su naturaleza se mantiene encendido después de cesar su voltaje de activación en gate se incluye una red R de apagado el cual se muestra en la Figura 2.7, resistencia con la cual se disipará el voltaje en gate hacia el negativo del equipo.

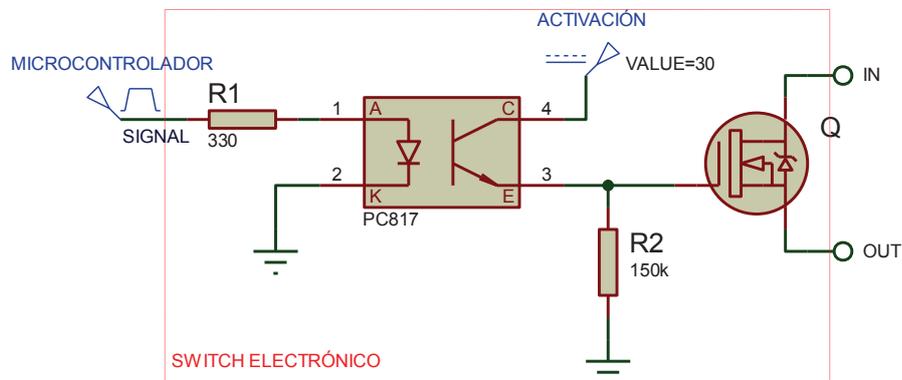


Figura 2.7. Diagrama esquemático del switch electrónico

El circuito mostrado en la figura anterior se mencionará más adelante en otras aplicaciones dentro del equipo por lo cual se desarrolla un circuito equivalente simplificado para su posterior empleo el cual se puede ver en la Figura 2.8, que corresponde a un switch de estado sólido.

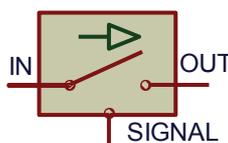


Figura 2.8. Símbolo simplificado del switch electrónico

En la Figura 2.9 se puede observar un ejemplo del uso del switch electrónico implementado. En la parte izquierda se puede observar todos los elementos electrónicos utilizados. En la parte derecha se puede observar el mismo circuito de manera más simplificada, otros ejemplos de aplicación del switch electrónico se verán más adelante con la simplificación del mismo como se observó en la Figura 2.8. Este ejemplo corresponde al uso del arreglo mosfet-diodo como switch para que la batería de un automóvil ingrese a alimentar al sistema desarrollado.

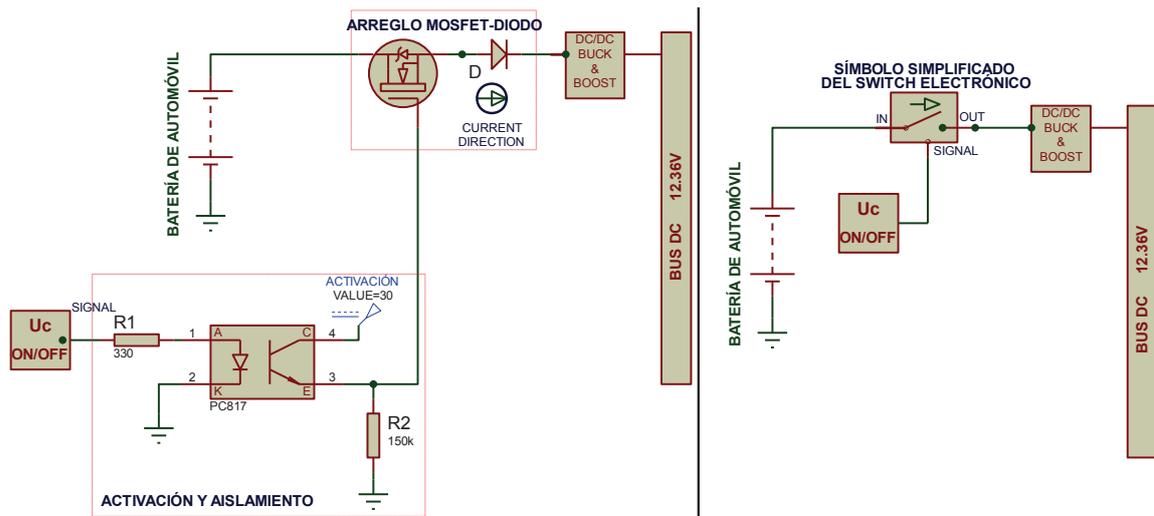


Figura 2.9. Ejemplo de aplicación del circuito de potencia

Dimensionamiento de mosfets

Una de las características del equipo es la corriente que se va a manejar en las diferentes partes del equipo como son: conmutación de fuentes, accionamiento de pantalla de visualización, ventilador y balanceador de celdas. En la Tabla 2.5 se presenta la corriente que se manejará por cada una de las partes mencionadas.

Tabla 2.5. Voltajes y corrientes máximas en el sistema

PARTE DEL EQUIPO	V max [V]	I max [A]
Panel solar	25	5
Batería de automóvil	14	5
Red eléctrica	24	5
Cargador de batería	15	5
Balanceador de celdas	5	0,3
Pantalla de visualización	5	0,1
Ventilador	14	0,1

Los Mosfets que se seleccionaron para cubrir estas necesidades junto con sus datos técnicos se presentan en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Datos técnicos de los mosfets empleados

Datos Técnicos			
Descripción	V drain source [V]	I drain [A]	Rds On [mΩ]
IRF540	100	23	77
IRLML2502 smd	20	4,2	45
2n7002 smd	60	0,15	1200

Dimensionamiento de la batería LIPO

Los equipos desarrollados en el laboratorio de UAVs y Aplicaciones Ópticas presentan diferentes necesidades energéticas, pero requieren de un sistema de alimentación similar por lo que tomando en consideración la potencia máxima de los equipos existentes que es de 50[W] y la corriente máxima del equipo de 5[A]. La batería seleccionada es una batería de polímero de litio (LIPO) de tres celdas con un voltaje de 11.1[V] y una capacidad de 5 [Ah]. Debido a la variedad de baterías de este tipo y la diversidad de fabricantes se toma como referencia la batería Turnigy mostrada en la Figura 2.10 cuyas características se muestran en la Tabla 2.7.



Figura 2.10. Batería LIPO

Tabla 2.7. Especificaciones de la batería LIPO

Especificaciones	Valor
Capacidad mínima	5000 mAh
configuración	3S1P/11,1V/3cell
Descarga Constante	20 C
Descarga Máxima (10sec)	30 C
Peso	360 g
Dimensiones	143x51x23 mm

Cargador de baterías LIPO

Para realiza la carga de las baterías LIPO se emplea un convertidor Buck&Boost comercial en el cual su salida de voltaje es controlada mediante un potenciómetro siendo este control manual. Se implementó un circuito electrónico como se puede ver en la Figura 2.11 para el acondicionamiento de una señal PWM procedente del microcontrolador para de esta

manera realizar un control desde el microcontrolador sobre la tarjeta del convertidor comercial sin la necesidad de manipular el potenciómetro dedicado dentro del mismo.

El circuito presentado consta de un filtro de señal pasa bajos, el cual permite el paso únicamente de frecuencias por debajo de su frecuencia de corte siendo las demás atenuadas, la frecuencia de corte está dada por la siguiente ecuación:

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

De forma heurística se determinó que la frecuencia de corte para este circuito es 50 Hz. Tomando como valor de capacitor $C_1 = 0.1\mu F$ se procede a calcular el valor de resistencia:

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi R_1 (0.1 \times 10^{-6})} = 50$$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi (50) (0.1 \times 10^{-6})} = 31.83k\Omega$$

Tomando como valor estándar de resistencia se tiene que $R_1 = 33k\Omega$.

Con los valores anteriores se tiene que la frecuencia de corte del filtro pasa bajos con los elementos empleados es:

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi (33 \times 10^3) (0.1 \times 10^{-6})}$$

$$f_{corte} = 48.28Hz$$

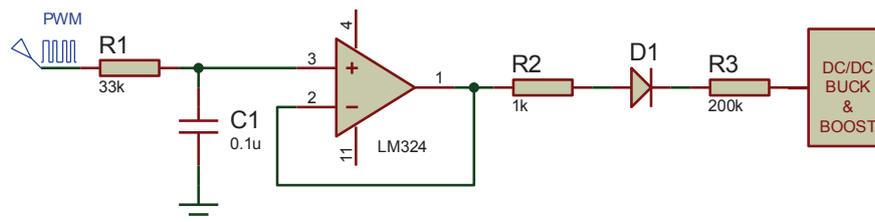


Figura 2.11. Circuito de control para los convertidores comerciales

En vista de que el convertidor comercial presenta su propia realimentación y para evitar una corriente de retorno hacia el circuito de control implementado se coloca una red RDR (resistencia – diodo - resistencia), los valores de los elementos fueron encontrados de forma heurística y mediante pruebas siendo estos los que se presentan en la Figura 2.11. Se determinó que el valor de la resistencia R_3 influye de manera directa a la precisión del control del convertidor comercial estando este valor en el orden de las centenas de ohmios.

En la Figura 2.12 se observa la simplificación de la planta a controlar, como se observa el control se realiza sobre un circuito RL, a pesar que se tienen capacitores en el esquema

principal del convertidor DC/DC, estas capacitancias son despreciables ya que se encuentran en el orden de nanofaradios. Al tener un circuito equivalente RL se requiere de un controlador proporcional e integral. Este controlador se sintonizará por métodos Heurísticos debido a que la planta se encuentra dentro de un circuito que es un convertido DC/DC comercial.

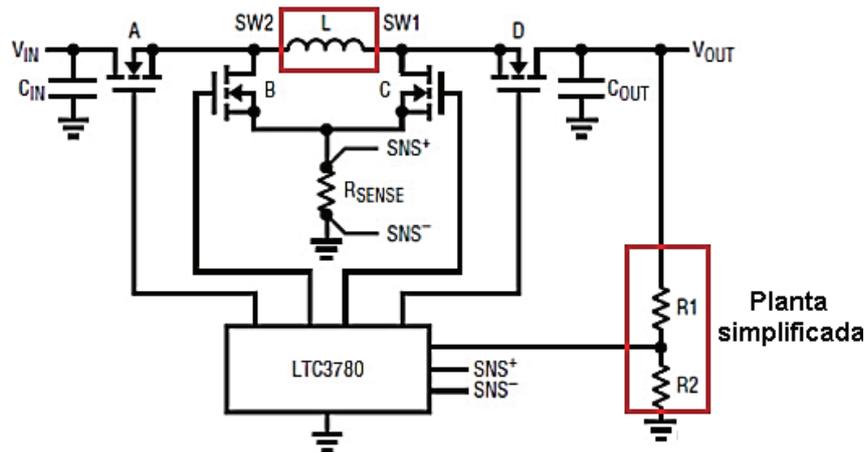


Figura 2.12. Circuito simplificado convertidor DC-DC comercial

En la Figura 2.13 se tienen los retardos que ingresan al sistema debido al circuito de control desarrollado para el convertidor DC/DC comercial. Mientras en la Figura 2.14 se encuentra el diagrama de bloques del sistema, debido a los retardos que se generan no se tiene un sistema síncrono y la planta es de tipo RL.

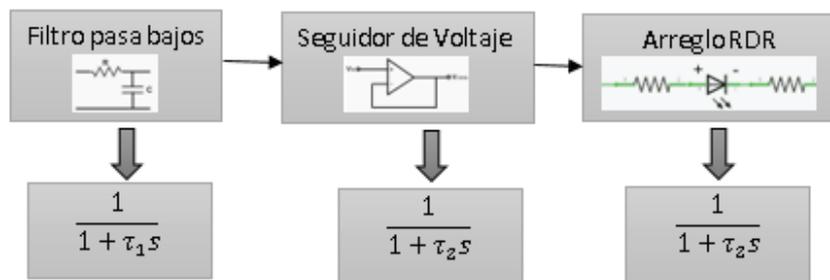


Figura 2.13. Retardos en el sistema

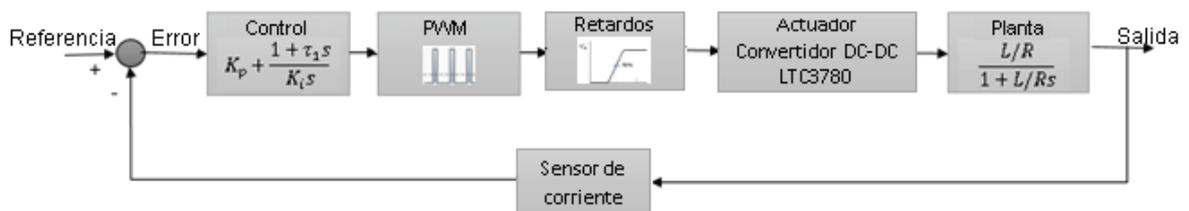


Figura 2.14. Diagrama de bloques de la planta

Balancedor de celdas para baterías LIPO

En la Figura 2.15 se muestra el circuito del balanceador de celdas para baterías LIPO de tres celdas, este es activado mediante switches electrónicos (los cuales se describió con anterioridad) y que al momento de ser activado cierran un lazo que compone una de las tres celdas junto con una resistencia en la cual se disipará energía hasta que se equiparen los voltajes de las tres celdas, esta acción se realiza individualmente.

La activación se realiza mediante una señal proveniente del microcontrolador el cual mediante el sensado del voltaje en cada celda determina cual se encuentra fuera del rango de voltaje entre celdas permitido y procede a reducirlo hasta que las tres se equiparen. Se toma como referencia una disipación menor de 1 watio debido al calentamiento que se presentaría. Se emplean resistencias para la disipación de energía de cada celda de $R_A = 18\Omega$ con lo cual se presenta la siguiente corriente:

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{R_A} = \frac{4.2}{18} A$$

$$I_{max} = 0.23 A$$

La potencia que se disipará será, por tanto:

$$P_{max} = I_{max} \times R_A = (0.23)(18) W$$

$$P_{max} = 0.95 W$$

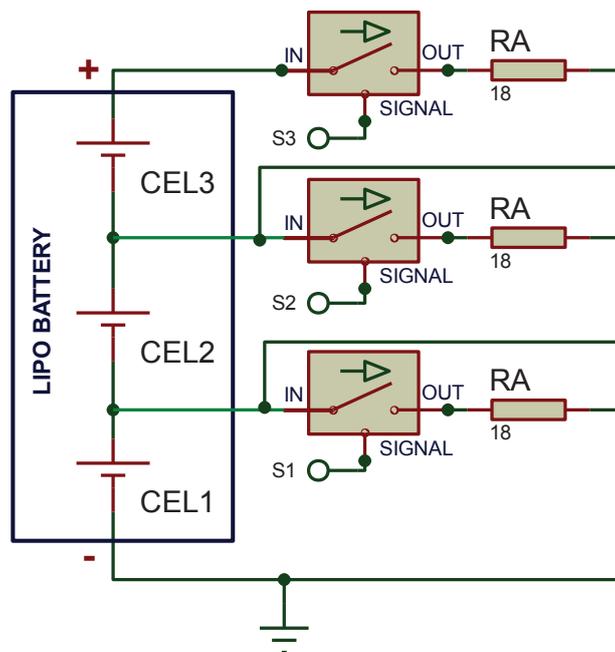


Figura 2.15. Diagrama esquemático del balanceador de carga

Sistema de detección de fuentes de alimentación

Red eléctrica

Para la detección de la alimentación se emplea un circuito de detección de cruce por cero el cual consta de una etapa inicial de rectificación la misma que se muestra en el puente rectificador de la Figura 2.16. Se emplea como aislamiento de la señal de corriente alterna con la del sistema implementado un optoacoplador, en este caso un 4n25 que corresponde a un opto transistor el mismo que por dato del fabricante requiere de 1.5mA mínimo y máximo 50mA para su activación.

Luego se procede a realizar el cálculo de la resistencia R1, además de, la potencia que se disipa en la resistencia debe ser menor a 1W, se toma como base una corriente de 5mA:

$$VDCmax = \sqrt{2}V_f = \sqrt{2} * 120 = 169V$$

$$R_1 = \frac{VDCmax - V_f}{I} = \frac{(169 - 1.5)V}{5mA} = 33.5k\Omega \rightarrow R_1 = 33k\Omega$$

$$i = \frac{VDCmax - V_f}{R_1} = 5.07mA$$

$$P_{dismax} = I^2 \cdot R_1 \leq 1W$$

$$P_{dis} = 0.85W$$

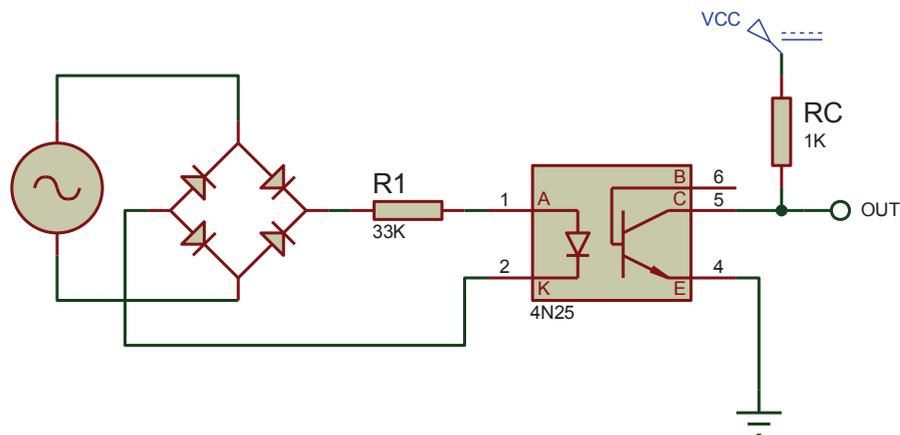


Figura 2.16. Circuito esquemático de la detección de la red eléctrica

El detector de cruce por cero está constituido por un rectificador de onda completo que cada medio ciclo de la señal alterna de la red da un valor en el voltaje de cero, valor con el cual el diodo del opto transistor deja de emitir una señal la cual es transformada a pulsos después de la parte aislada del mismo, estos pulsos son interpretados por el microcontrolador como cambio de estados lógicos (cero y uno).

Batería de automóvil

Para la detección de la batería de automóvil se realiza un divisor de voltaje entre los terminales de la batería como se muestra en la Figura 2.17, el voltaje que cae en el divisor de voltaje es menor a 5V y mayor a 3V, con este voltaje el microcontrolador detecta que se ha conectado esta fuente de alimentación, se toma en consideración también que el voltaje de la batería de un automóvil está en 14V, los valores de las resistencias se calculan de acuerdo a lo anterior, se toma como referencia a $R_B = 3.3k\Omega$:

$$V_{R_B} = 5V = 14V \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

$$R_A = \frac{14}{5}R_B - R_B = \frac{9}{5}R_B = \frac{9}{5} * 3.3k\Omega = 5.94k\Omega$$

$$R_A = 6.8k\Omega$$

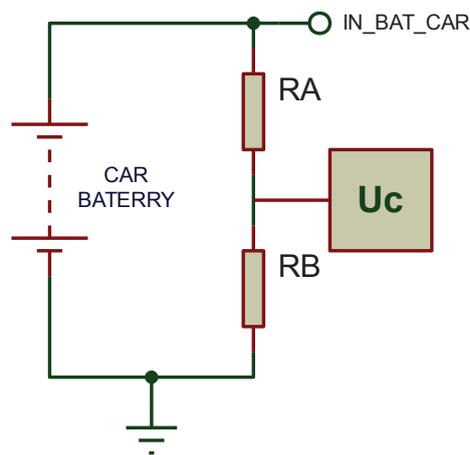


Figura 2.17. Circuito esquemático de la detección de batería de automóvil.

Panel solar

El voltaje de un panel solar es variable en función de la irradiancia que incida sobre el mismo. Para la detección de esta fuente de alimentación se realiza primero un acondicionamiento del voltaje del panel tomado como máximo 25V, este voltaje es reducido a niveles aceptados por el microcontrolador. Mediante un amplificador diferencial se realiza la reducción para tener una salida de hasta 3.3V, la ganancia de este amplificador es de 0.12, descrita en la Tabla 2.4.

Después dentro del sistema micro procesado se realiza el escalamiento correspondiente y se toma como detección del panel solar cuando el mismo presente un voltaje superior a 9V como se muestra en el diagrama de la Figura 2.18.

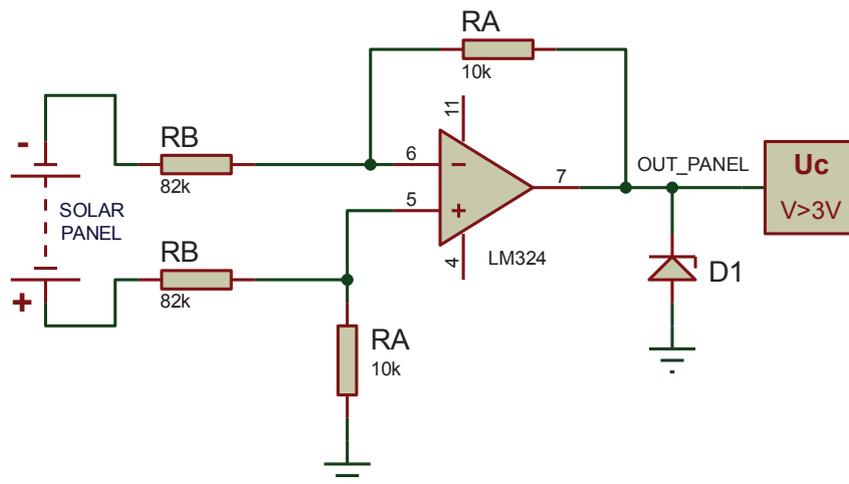


Figura 2.18. Diagrama esquemático de la detección del panel solar

Protecciones

Dimensionamiento de diodos

La potencia del sistema de energía es de 50 [W] como referencia y para protección de los convertidores comerciales se tiene que la corriente para esa potencia es de 3.84 [A] y el voltaje máximo que proviene del panel solar es de 25 [V]. Los diodos seleccionados para esto son S10M y SK54, dispositivos de montaje superficial como se pueden observar en la Figura 2.19 (b) y (c) respectivamente, los datos técnicos de estos elementos se pueden observar en la Tabla 2.8.



Figura 2.19. Símbolo y diodos smd: (a) símbolo de diodo. (b) diodo S10M. (c) diodo SK54

Tabla 2.8. Datos técnicos de los diodos de potencia empleados

Datos Técnicos		
Descripción	V pico reverso [V]	I Forward [A]
S10M smd	1000	10
SK54 smd	40	5

Dimensionamiento de fusibles

Los convertidores comerciales cuentan con protecciones propias, con fusibles ya instalados en los mismos. Para la protección de la fuente de alimentación tomada por la

batería de automóvil se toma como referencia que la corriente máxima que va a pasar por los convertidores es de 5 [A] por lo que la corriente para este fusible es la anterior. Para la red eléctrica se toma como referencia el voltaje para un rectificador de onda completa presente en el convertidor comercial, sin filtrado de la señal el voltaje DC que se tiene está dado por:

$$V_{oDC} = \frac{2}{\pi} V_p = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} V_{VRMS}$$

$$V_{oDC} = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} (120)$$

$$V_{oDC} = 108.037 [V]$$

Para protección del equipo se toma un valor de potencia que deberá entregar el convertidor AC/DC de 50 [W], entonces la corriente que va a circular por la red eléctrica está dada por:

$$P = V \cdot I$$

$$I = \frac{50}{108.37} [A]$$

$$I = 0.46 [A]$$

Tomando un valor estándar de fusibles se selecciona el valor más cercano que es de 0.5[A].

Circuito del sistema de Ventilación

El sistema de ventilación como se puede observar en la Figura 2.20 consta de un switch electrónico descrito con anterioridad, el cual alimenta desde el Bus DC del sistema de energía y es activado bajo determinadas condiciones dentro de los lazos de control como son: temperatura interna mayor a 35 °C, corriente en el bus mayor a 2 [A], activación del sistema de carga de las baterías LIPO. Las especificaciones técnicas del motor son: $V_{in} = 12 [V]$ e $I = 0.11 [A]$.

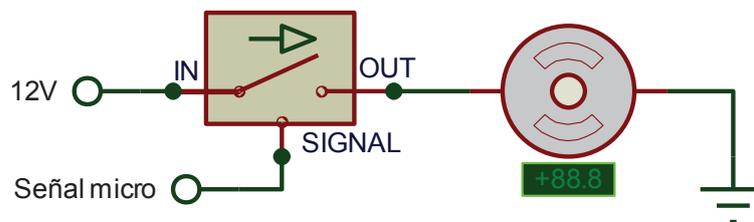


Figura 2.20. Diagrama esquemático del sistema de ventilación

Software

El software se realiza en diferentes secciones las cuales se describen a continuación.

Conmutación de fuentes

Para la conmutación de las fuentes a más de un acondicionamiento por hardware descrito anteriormente, se realiza una detección mediante software. Cada fuente es detectada de distinta manera.

Para la detección de la red eléctrica se emplea un timer del microcontrolador en modo contador con el cual cada 8.66ms

si no se detecta un cambio de estado del circuito de cruce por cero se interpreta como no detección de la red eléctrica inhabilitando las acciones que se toman cuando esta fuente está conectada.

Para la detección de la batería de auto, una vez que se ha conectado esta fuente se tiene un cambio de estado en un pin del microcontrolador el cual para un estado de "1" lógico interpreta como detección y para el estado "0" lógico lo considera como no detección.

Para la detección del panel solar, una vez acondicionado el voltaje del panel a niveles aceptados por el convertidor AD (análogo-digital) del microcontrolador, se toma como detección del panel solar cuando se tenga un voltaje superior a 9V y no detección cuando sea lo contrario.

Una vez realizada la detección de las fuentes se tiene una priorización de las mismas, es decir, si se encuentran conectadas varias fuentes la que mayor energía puede entregar al sistema estará activada mientras que las otras se desactivarán. Se ha tomado el siguiente orden de prioridad de las fuentes: primero red eléctrica, segundo la batería de auto, tercero el panel solar y cuarto la batería de respaldo en caso de que ninguna de las tres primeras fuentes esté conectada.

Para el caso particular del panel solar se trabaja a la par con la batería de respaldo. Si la batería tiene un nivel de carga superior al 20% entrará a trabajar en conjunto, esto debido a que el panel solar es una fuente de energía variable y en caso de no generar la suficiente energía la batería de respaldo suministrará la energía faltante.

El la Figura 2.21 se muestra el diagrama de flujo de la activación de desactivación de las fuentes de alimentación dependiendo de la priorización anteriormente detallada.

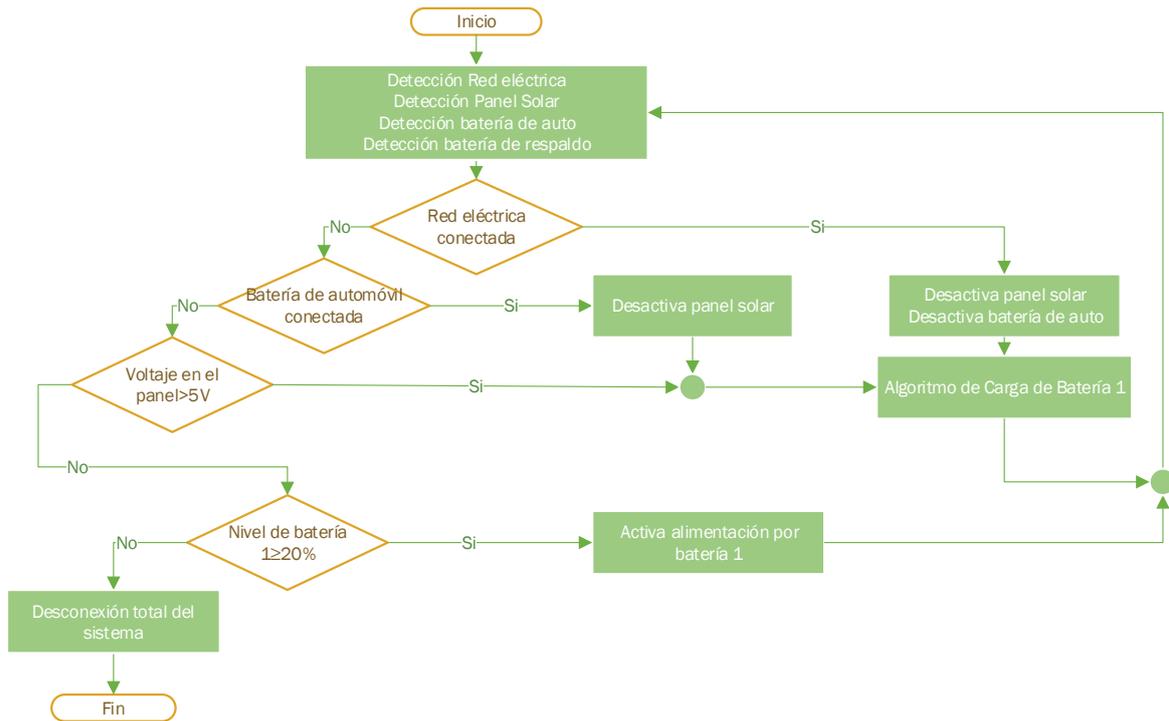


Figura 2.21. Diagrama de flujo de conmutación de fuentes de alimentación

Controlador de carga de batería lipo

La carga de las baterías se las realiza en un determinado momento o bajo condiciones en las cuales el equipo no presenta un consumo alto de energía por lo que se puede cargar a las baterías sin sobrecargar al sistema.

La condición principal para la carga de las baterías se da con una prueba de comunicación del microcontrolador principal Atmega 164P con el microcontrolador Atmega 328P. Se da como primera prioridad de carga a la batería que se encuentra fuera del módulo o batería dos, si no se detecta comunicación implica que no se encuentra conectada alguna carga por lo tanto se procede a realizar la carga de la batería 1 siempre y cuando no haya llegado a un nivel de carga del 100%.

Una vez detectada la comunicación entre microcontroladores se procede a tomar la corriente del bus DC y se verifica el estado de las baterías, si se presenta una corriente mayor a 2.5A, el nivel de carga de la batería 2 es menor al 50% y la batería 1 presenta un nivel de carga mayor al 30% entonces las acciones que se toman es activar alimentación al sistema desde la batería 1. Para los casos contrarios a las condiciones anteriores se realiza acciones como carga a la batería 1 o desactivación de la misma. Las acciones anteriormente descritas se pueden observar en el diagrama de flujo de la Figura 2.22.

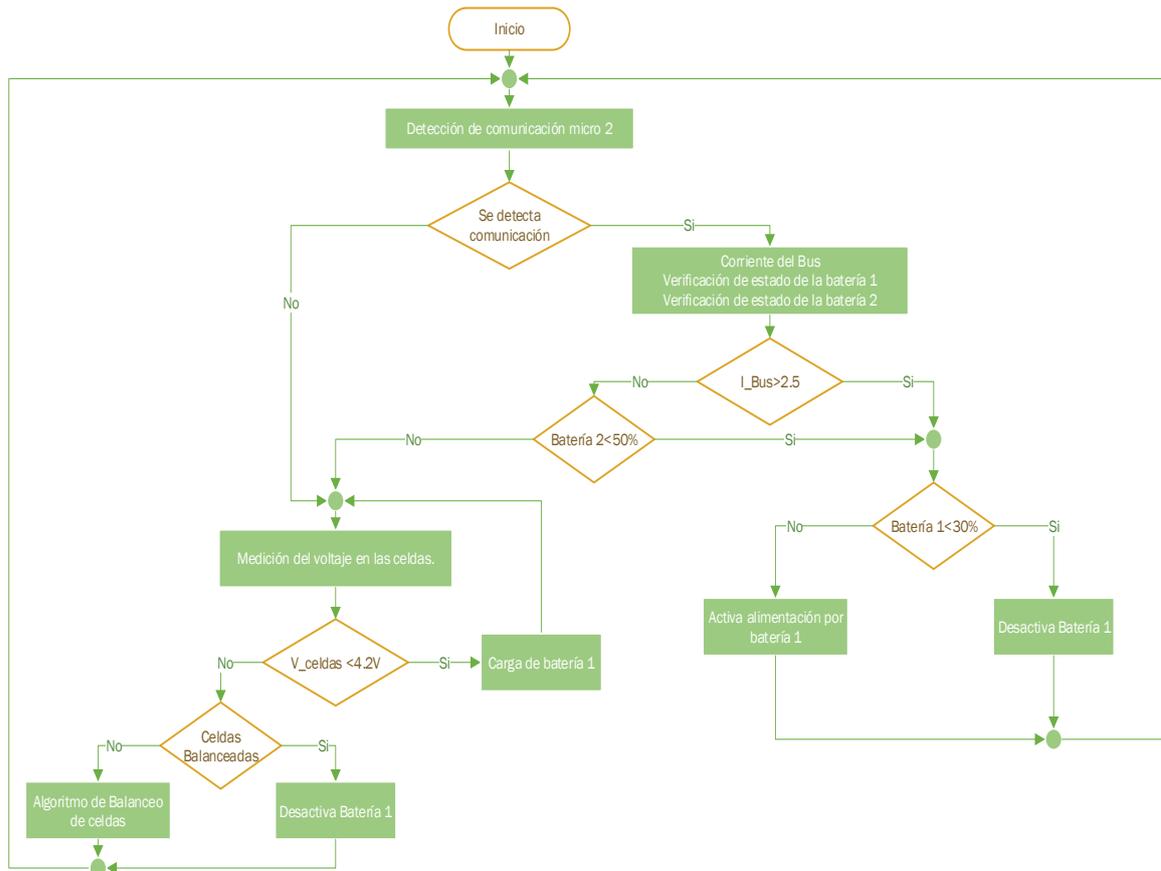


Figura 2.22. Diagrama de flujo de las acciones para la carga de la batería

Luego de la verificación de las condiciones para la carga de la batería se ejecuta la subrutina necesaria para la carga de las baterías lipo.

La subrutina de carga de las baterías se observa en la Figura 2.23 donde se garantiza que la carga se realice a corriente constante y voltaje variable hasta alcanzar el valor de 4.17V por celda, cuando el voltaje sea mayor a este valor se carga a voltaje constante y corriente variable hasta que la corriente sea menor al 10% de la corriente nominal de la batería. Como se va a cargar baterías de 5000mAh la corriente debe ser inferior a 500mA.

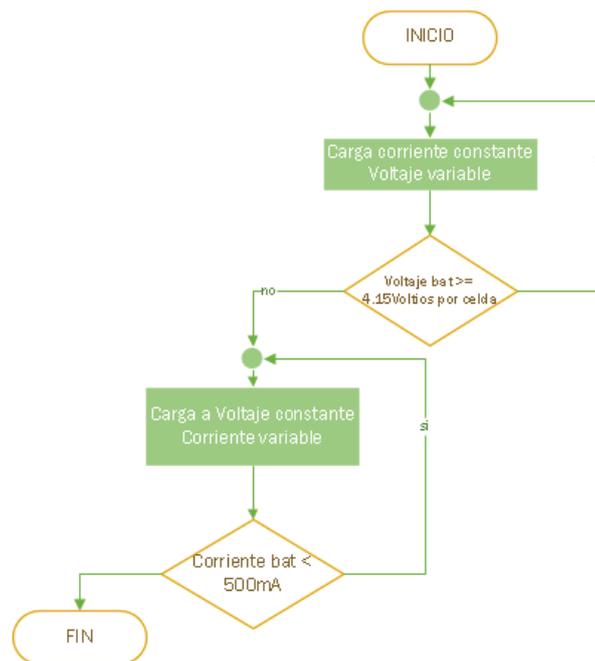


Figura 2.23. Diagrama de flujo carga de batería LIPO

Para mantener la corriente constante con un voltaje variable se implementa un controlador PI como se muestra en la Figura 2.24. Inicialmente se sensa la corriente en la batería, luego se almacena la salida y error anterior. Para calcular el error se resta la corriente de referencia menos la corriente sensada. Finalmente se calcula la salida sumando la parte proporcional e integral y esta salida se envía al OCR2A para controlar el convertidor DC/DC.



Figura 2.24. Diagrama de flujo del controlador PI

Balancedor de celdas de baterías LIPO

Se realiza un algoritmo de balanceo de celdas de las baterías LIPO en el cual mediante una medición del voltaje de cada celda y dependiendo de la diferencia en la medición de las mismas se procede a descargar las celdas que presenten mayor voltaje respecto de las tres. El balanceo se lo realiza celda por celda hasta llegar al voltaje de la celda que menor valor presente. Mediante una carga resistiva se disipa energía de cada celda hasta que las tres se encuentren equiparadas.

El diagrama de flujo del balanceador de celdas se presenta en la Figura 2.25 en el cual se puede observar que el balanceo es un ciclo repetitivo hasta que se equiparen los voltajes de las 3 celdas dando en este punto terminación al ciclo.

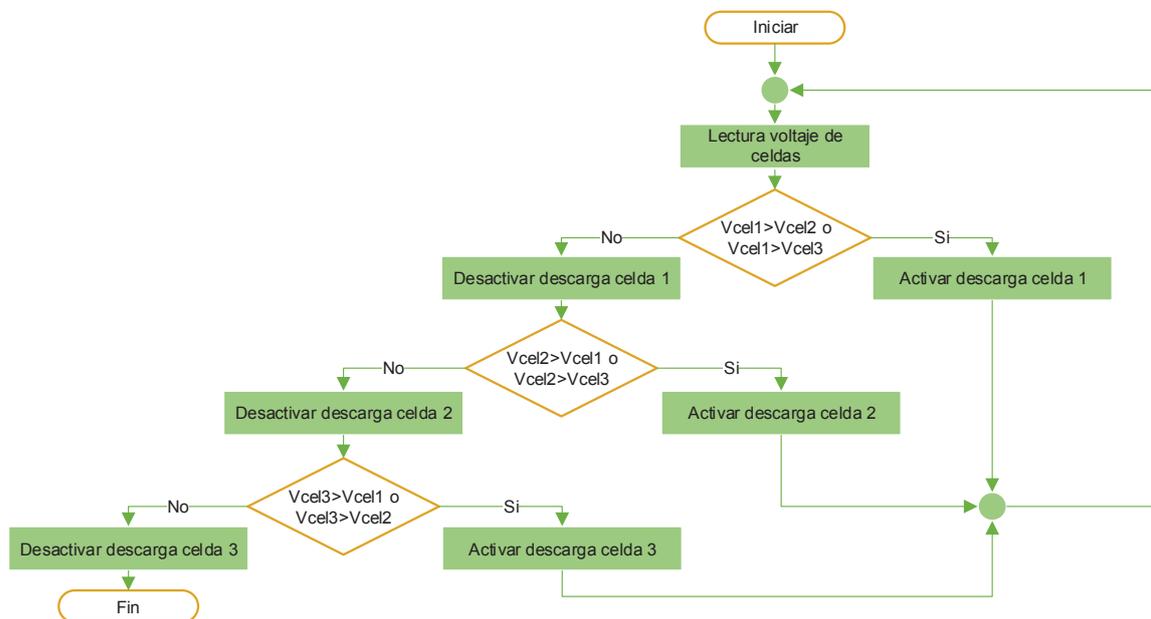


Figura 2.25. Diagrama de flujo para el balanceo de las celdas

Protocolo de comunicación

Se utiliza comunicación *Usart* tanto para la comunicación entre los microcontroladores, como para la comunicación entre el microcontrolador y la pantalla, ambas en modo asíncrono, sin bit de paridad, 8 bits de transmisión y 1 bit de parada.

Comunicación entre microcontroladores

La transferencia de variables del Atmega328P al Atmega164p se da por comunicación *Usart*, el dato recibido se almacena en una variable local, posteriormente se verifica si el dato recibido es una de las letras: c, d, e, f, g, h o i, con esto se logra diferenciar que variable se está recibiendo.

Si la variable recibida es una de las letras mencionadas anteriormente se almacena en la variable global “comando”, posteriormente se encera la variable con la posición del dato en la matriz donde se almacena el dato reconstruido.

Debido a que se realiza la transmisión byte a byte del dato, se reconstruye la variable en la recepción, por ende el siguiente dato recibido será uno de los bytes de la variable que se va a reconstruir de acuerdo al valor de “comando”, la asignación de variables se da como se muestra en la Tabla 2.9. Mientras la posición sea menor a 4 la variable se reconstruye, cuando la posición sea mayor a 4 la reconstrucción de la variable ha concluido y se procede a almacenarla. En la Figura 2.26 se tiene el diagrama de flujo que muestra el proceso anteriormente descrito.

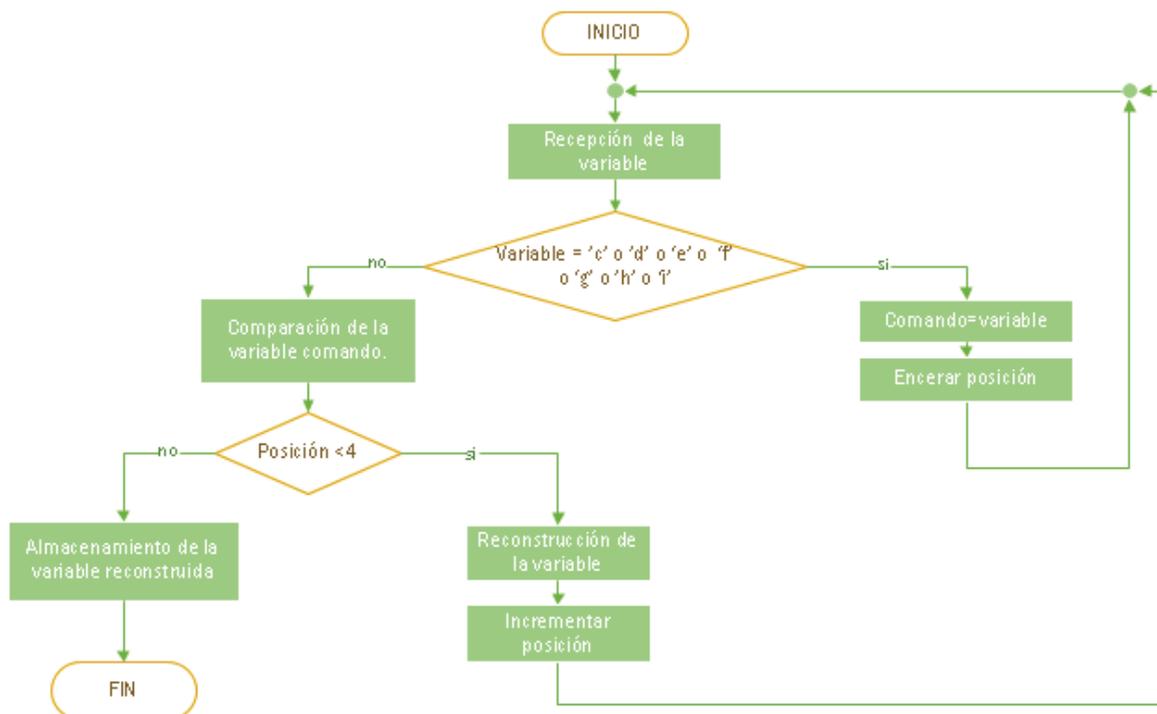


Figura 2.26. Diagrama de flujo comunicación entre uCs

Tabla 2.9. Variables recibidas por el Atmega 164P desde el Atmega 328P

Comando	Variable
c	Voltaje celda 1
d	Voltaje celda 2
e	Voltaje celda 3
f	Temperatura batería 1
g	Corriente batería 1
h	Estado de las celdas batería 1
i	Corriente del bus DC

Comunicación al HMI

En la Figura 2.27 se muestra el protocolo de comunicación que requiere la pantalla Nextion para entender los datos enviados por el microcontrolador.

A pesar que la pantalla puede recibir diferentes tipos de datos, en este proyecto se envían datos numéricos identificados por la pantalla como tipo val, estos datos pueden ser observados en cuadros de número o pueden manejarse como variables para operaciones internas en la pantalla.

Para la recepción de los datos se requiere del nombre de la variable a la cual se le quiere asignar el dato, más el tipo de variable seguido del signo igual “=”. Posteriormente se recibe el dato byte a byte.

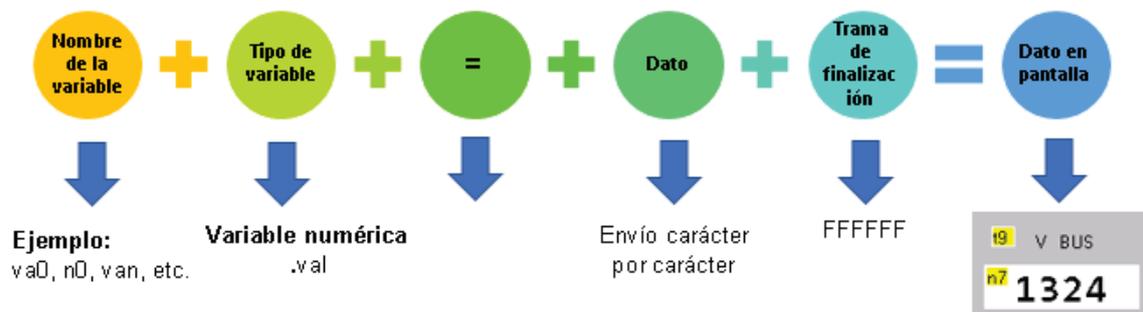


Figura 2.27. Diagrama para la comunicación entre la pantalla Nextion y el uC

En la Figura 2.28 se muestra el diagrama de flujo para la recepción de datos en la pantalla Nextion.

En la recepción de los datos se requiere el nombre de la variable a la cual se le va a asignar el dato, luego se agrega el tipo de variable más el signo igual “=”. Posteriormente se recibe el dato carácter por carácter empezando por el más significativo y finalmente se tiene la trama de finalización igual a FFFFFFF.

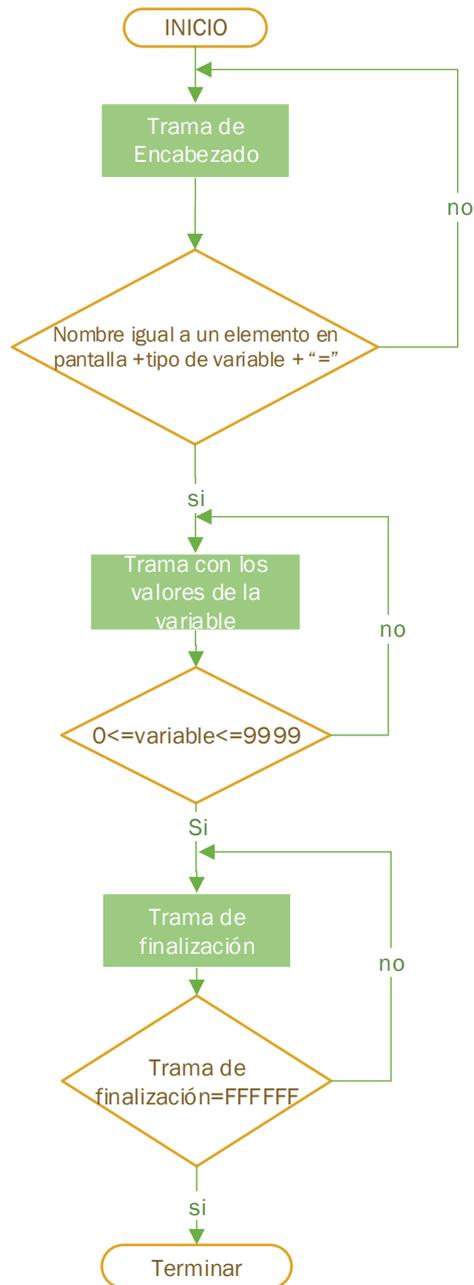


Figura 2.28. Diagrama de flujo comunicación uC- Pantalla Nextion

HMI

La interfaz se realizó para la pantalla nextion de 2.8” en el software Nextion ya que permite manejar pantallas más dinámicas para el usuario. En la Figura 2.29 se observa la pantalla de inicio del software identificando las principales herramientas de su entorno.

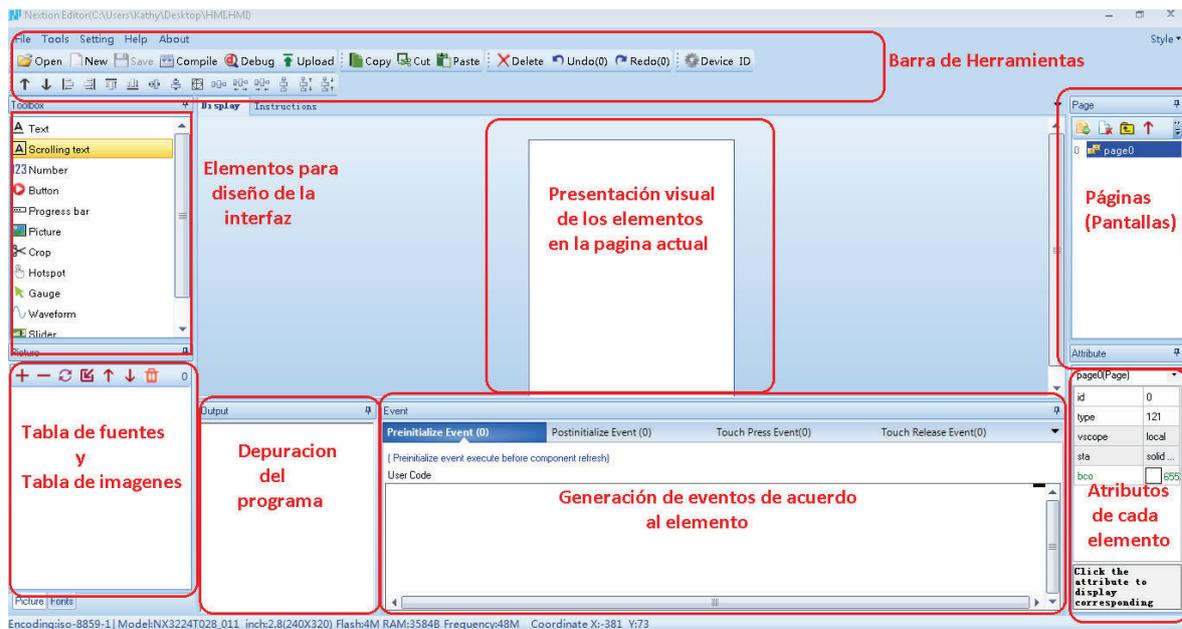


Figura 2.29. Entorno de trabajo del software Nextion

En la barra de herramientas se tiene la opción de compilación, depuración y upload que son las más utilizadas, además permite seleccionar el dispositivo que se requiera utilizar de acuerdo con la serie de la pantalla a utilizar y tiene opciones para darle un acabado más estético a la pantalla creada como alineación, entre otros.

En el centro se encuentra la vista previa de la página creada, con lo cual se puede observar claramente cómo se va a mostrar en la pantalla, la pagina propiamente puede tener cambios en sus atributos.

En la ventana Toolbox se encuentran los elementos para la creación de las páginas, estos pueden ser cuadros de texto, botones, cuadros de número, gráficos, timers, entre otros, con lo cual se pueden crear diversos diseños y debido a que cuenta con un microcontrolador integrado permite realizar programación dentro de la pantalla.

En la ventana de Picture y Fonts se almacenan las imágenes que se utilizan en la programación de la pantalla y las fuentes que se vayan a utilizar, se pueden eliminar, importar o exportar, cambiar el orden de prioridad, etc.

En la ventana Debug se muestra la depuración del programa, si se generan errores en la programación señala la herramienta o línea de programa donde se haya generado el error.

En la ventana de Event se programan las instrucciones internas de la pantalla de acuerdo a la herramienta que se utilice, por ejemplo, en un pushbutton se puede programar eventos que pueden ocurrir en el momento de presionarlo o luego de presionarlo.

En la ventana Attribute se muestran las características que se pueden cambiar de cada herramienta dependiendo de cual se encuentre seleccionada como: color, tamaño, posición, tipo de variable, nombre de la variable, entre otros.

Finalmente, en la ventana de página se muestran las paginas creadas, además se pueden importar o exportar paginas creada, permite realizar cambios similares a los de la ventana de Picture y Fonts.

Programación

La programación de la pantalla se realizó utilizando las diferentes herramientas del software propio de la pantalla. Para la comunicación con el equipo se utilizó el canal USART1 del atmega164p siguiendo el siguiente protocolo de transmisión.

- Identificación del elemento. Ejemplo: n0.val=, con esta línea se dirige al cuadro de número llamado n0.
- Valor para asignar al elemento, enviado carácter por carácter desde el más significativo. Ejemplo: Valor a transmitir: 324, Transmisión primer valor: 3, transmisión segundo valor: 2 y finalmente el número: 4.
- Finalización de la trama: Se envía la cadena FFFFFFF para que el microcontrolador de la pantalla sepa que es el final de del dato asignado al elemento.

En la Figura 2.30 se muestra la pantalla de inicio del equipo que cuenta con la slider para desbloquear el equipo.



Figura 2.30. Pantalla de inicio del equipo

En la Figura 2.31 se muestra la pantalla con el estado de las baterías, en donde se utilizaron slider para mostrar el porcentaje de carga de las baterías, cuadros de texto con el fin de conocer porcentaje de carga de las baterías y un pulsador para el intercambio entre pantallas.

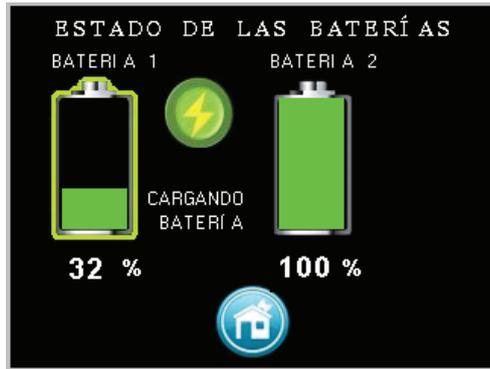


Figura 2.31. Pantalla donde se muestra el estado de la batería

En la Figura 2.32 muestra las fuentes de alimentación conectadas por medio de selecciones de Pictures e intercambio de estas de acuerdo con el estado de las variables, se generan las operaciones dentro de un timer propio de la pantalla como se observa en la Figura 2.33.



Figura 2.32. Pantalla para conocer el estado de las fuentes

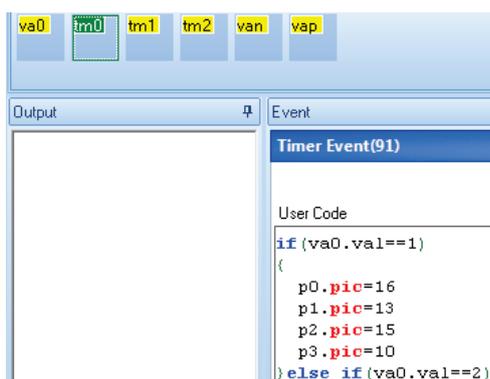


Figura 2.33. Timers y variables internas en software Nextion

Estado del sistema

Dentro del estado del sistema se tiene la visualización de la fuente que se encuentra conectada al equipo, dependiendo del valor de una variable enviada desde el microcontrolador se visualiza un cambio en el ícono de la fuente y en el caso que se

encuentre múltiples conectadas las flechas indican la fuente que se encuentra suministrando energía al sistema.

En la Figura 2.34 se observa que está conectado el panel solar y la batería de respaldo y en este caso se encuentran las dos suministrando energía al equipo.



Figura 2.34. Pantalla que muestra el estado de fuentes del sistema

Además, se presenta el estado de las dos baterías en porcentaje y nivel gráfico como se puede observar en la Figura 2.35 (a), (b) y (c) donde se puede observar que mientras las baterías tengan un porcentaje de carga mayor al 30% presentarán un color verde, en color naranja cuando se encuentren por debajo del 30% y en color rojo cuando las baterías estén totalmente descargadas.

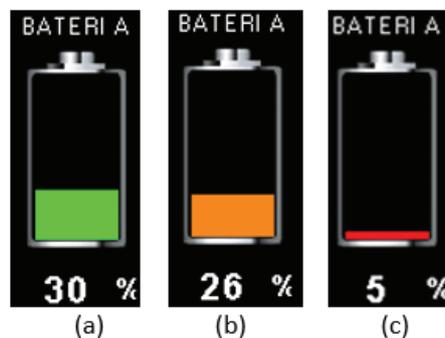


Figura 2.35. Niveles de voltaje de las baterías: (a) Mayor al 29% (b) Menor al 29 y mayor al 5% (c) Menor o igual al 5%

Alarmas

Debido a que las baterías pueden presentar diferentes estados en los cuales se puede presentar una anomalía en su funcionamiento se presentan las siguientes alarmas que se presentan en forma visual: falla en alguna celda de las baterías, conexión de las baterías sin su conector de las celdas, batería no conectada como se puede observar en los ejemplos a, b y c de la Figura 2.36.



Figura 2.36. Alarmas y alertas que pueden tener las baterías: (a) falla en batería 1. (b) celdas desconectadas de batería 2. (c) Carga de batería 1

Se puede observar además en los ejemplos de la figura anterior un indicador tanto en ícono como en texto de la batería que se encuentra cargando.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestra los resultados del diseño y la implementación del equipo. En la Figura 3.1, Figura 3.2 y Figura 3.3 se observan las partes relevantes y la descripción de las mismas a continuación.

1. Pantalla de interfaz gráfica.
2. Botón de encendido de pantalla.
3. Entrada del sistema de ventilación.
4. Entradas para fuentes de alimentación.
5. Conector de alimentación y comunicación con placa 2.
6. Botón de encendido del equipo.
7. Conector de batería 1.
8. Conector de celdas batería 1.
9. Correas de sujeción para la batería 1.
10. Conector de red eléctrica.
11. Conector de batería de automóvil.
12. Conectores para panel solar.
13. Conector de alimentación y comunicación con placa 1.
14. Conector de señales informativas de estado de la batería 2.
15. Borneras para alimentación a la carga (de izquierda a derecha: 12 V, 5V y GND).
16. Entrada de ventilación placa 2.
17. Conector de batería 2.
18. Conector de celdas batería 2.
19. Correas de sujeción para la batería 2.
20. Cable de comunicación y alimentación entre partes.



Figura 3.1. Componentes exteriores de la parte 1 del equipo: (a) vista frontal. (b) vista posterior

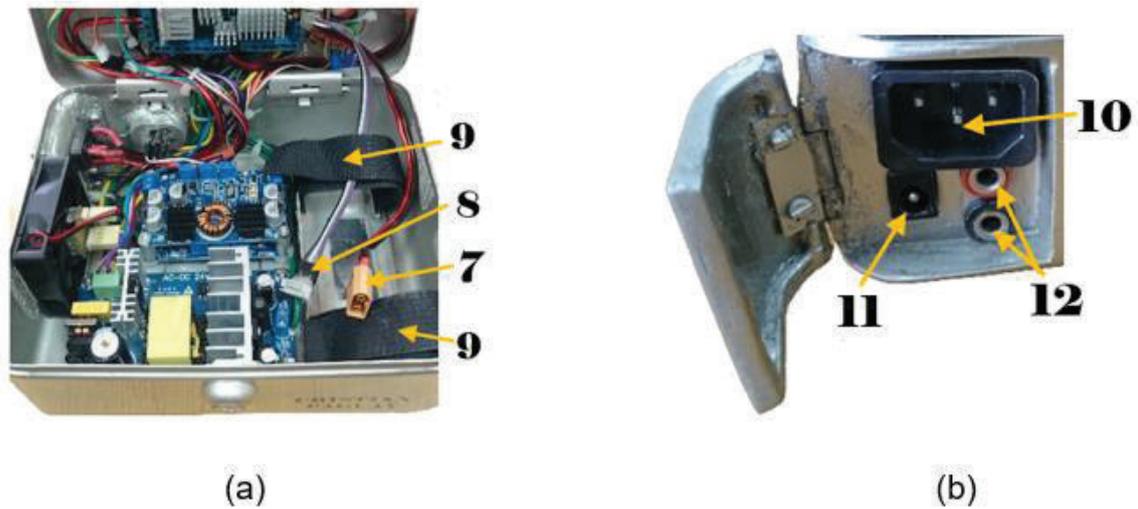


Figura 3.2. Parte interior y conector de fuentes de la parte 1 del equipo: (a) parte interior. (b) conectores de fuentes

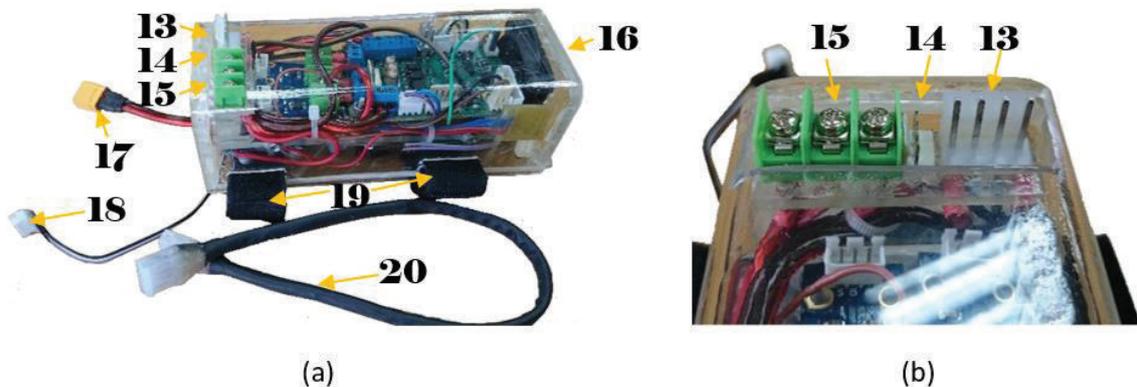


Figura 3.3. Vistas exteriores de la parte 2 del equipo: (a) vista lateral. (b) vista de los conectores

Placas Electrónicas de control

El sistema de energía implementado consta de dos placas de control separadas como se puede observar en la Figura 3.4 (a) para la parte 1 del sistema y en la Figura 3.4 (b) la parte 2 del sistema, las mismas que realizan la administración y conmutación de la energía de las fuentes de alimentación, comunicación entre placas e interfaz gráfica y la carga de las baterías LIPO instaladas en el sistema.

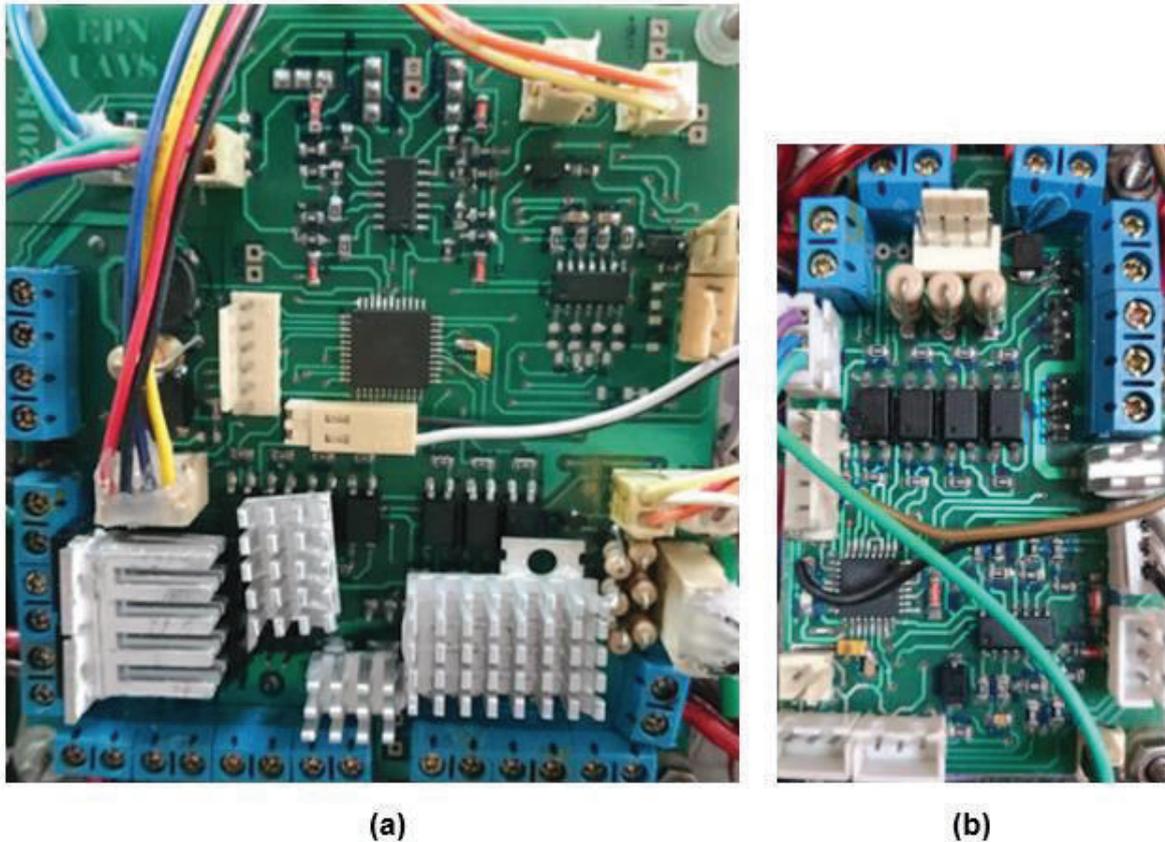


Figura 3.4. Placas de control desarrolladas: (a) parte 1 del equipo. (b) parte 2 del equipo

Conmutación de fuentes

Las fuentes de alimentación son seleccionadas de acuerdo a la prioridad dada a las mismas (primero red eléctrica, segundo batería de automóvil, tercero panel solar y cuarto batería 1), y para que el algoritmo desarrollado pueda realizar la conmutación a cada una de ellas se utilizó una variable del tipo binaria de 4 bits en la cual cada bit representa una variable como se puede observar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Asignación de bits para la variable de Fuentes de alimentación

Red Eléctrica (bit 3)	Batería de Automóvil (bit 2)	Panel Solar fotovoltaico (bit 1)	Batería 1 (bit 0)	Acción del sistema
0	0	0	0	Sistema apagado, sin acción
0	0	0	1	Alimentación por batería 1
0	0	1	0	Alimentación por panel solar fotovoltaico
0	0	1	1	Alimentación por batería 1 y panel solar fotovoltaico
0	1	0	0	Alimentación por batería de auto
0	1	0	1	Alimentación por batería de auto
0	1	1	0	Alimentación por batería de auto
0	1	1	1	Alimentación por batería de auto
1	0	0	0	Alimentación por red eléctrica
1	0	0	1	Alimentación por red eléctrica
1	0	1	0	Alimentación por red eléctrica
1	0	1	1	Alimentación por red eléctrica
1	1	0	0	Alimentación por red eléctrica
1	1	0	1	Alimentación por red eléctrica
1	1	1	0	Alimentación por red eléctrica
1	1	1	1	Alimentación por red eléctrica

Se puede observar en color rojo la fuente con mayor prioridad sobre las demás, para el caso del panel solar fotovoltaico ya que es una fuente variable de energía se trabaja a la par con la batería 1. Tanto la red eléctrica como la batería de automóvil son fuentes que tienen la capacidad de suministrar la energía suficiente al equipo por lo que a estas se les da mayor prioridad.

La conmutación de las fuentes de alimentación proporciona energía continua al equipo aun cuando alguna de las fuentes ha sido desconectada. Debido a que no se utiliza relés electromecánicos sino semiconductores de potencia la respuesta de conmutación de las fuentes se vuelve más rápida. En la Figura 3.5 se muestra la conmutación de las fuentes de alimentación en las cuales el canal A (en rojo) representa la red eléctrica, el canal B (en

azul) representa la batería de automóvil, el canal C (en negro) representa el panel solar y el canal D (en verde) representa el Bus DC del equipo implementado.

En la Figura 3.5 (a) se muestra las fuentes de alimentación conectadas, como una referencia se ve la señal sinusoidal de la red eléctrica que después será cambiada en escala de tiempo para poder apreciar la desconexión.

En la Figura 3.5 (b) acabado el tramo 1 se puede observar la desconexión de la red eléctrica (señal en rojo) y el Bus DC (señal en verde) se mantiene constante ya el equipo pasa a ser alimentado por la batería de automóvil (señal en azul). Acabado el tramo 2 se visualiza la desconexión de la batería de automóvil manteniéndose constante el Bus DC que ahora es alimentado por el panel solar (señal en negro). En el tramo 4 se observa la desconexión del panel solar y el Bus DC se mantiene constante ya que internamente pasa a ser alimentado por la batería 1 que está internamente en el equipo.

En la Figura 3.5 (c) se puede observar la conmutación de las fuentes en los tres primeros tramos y en el tramo 4 se observa un decaimiento del Bus DC debido a que no se encuentra conectada la batería 1 en el equipo.

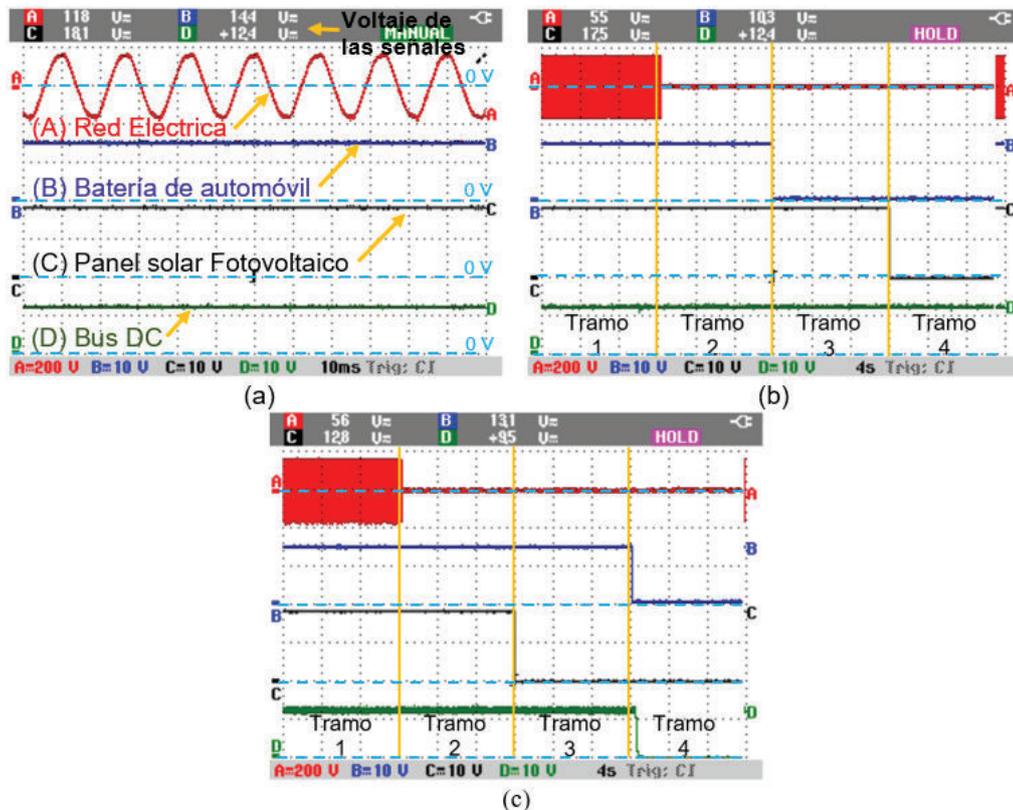


Figura 3.5. Respuesta gráfica de la conmutación de fuentes: (a) todas las fuentes conectadas. (b) desconexión de fuentes con batería 1. (c) desconexión de fuentes sin batería 1

Comunicación del sistema

La comunicación del sistema se realiza por medio de un cable de conexión en el cual además de tener los terminales de transmisión y recepción permite a alimentación desde la parte 1 a la parte 2 del equipo como se puede observar en la Figura 3.6.



Figura 3.6. Conexión para comunicación entre las dos partes del equipo

Cuando el equipo es conectado, como se puede observar en Figura 3.7 (a), en la interfaz gráfica se proyecta la acción que el equipo realiza sobre la batería, para este ejemplo se puede observar en la Figura 3.7 (b) que se encuentra realizando el proceso de carga de la batería 2.



Figura 3.7. Comunicación entre la parte 1 y parte 2 del equipo: (a) conexión del equipo.
(b) zoom de la pantalla

Como se observa en la Figura 3.8 (a), se observará en la interfaz el mensaje de "BATERÍA NO DETECTADA", cuando las dos partes del sistema se encuentren desconectadas.

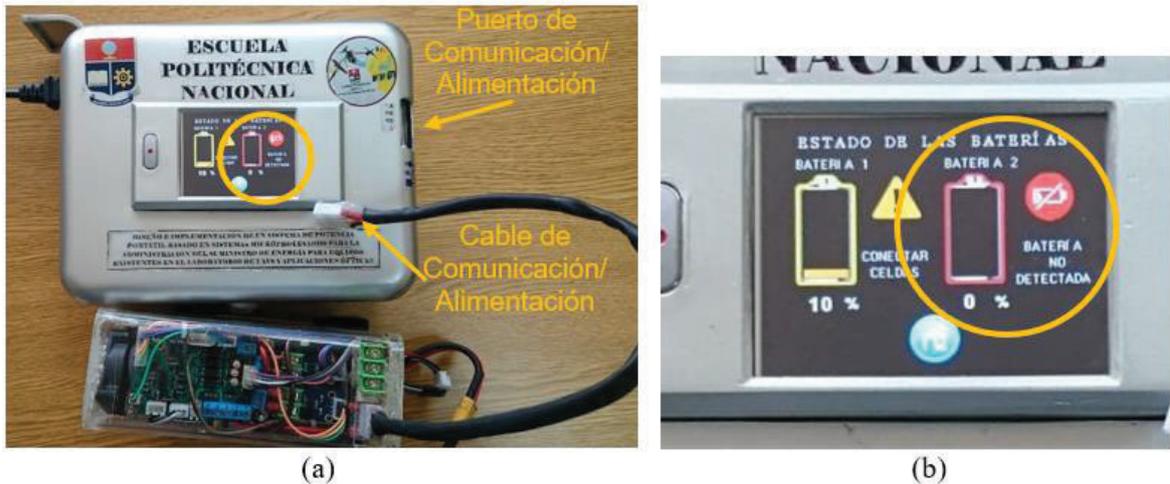


Figura 3.8. Desconexión de las dos partes del equipo: (a) desconexión del equipo. (b) zoom de la pantalla

La comunicación entre las dos partes del sistema se realiza mediante comunicación serial y para la visualización de las variables más relevantes del sistema se desarrolló dos pantallas de visualización en la interfaz gráfica como se puede observar en la Figura 3.9. En la Figura 3.9 (a) se visualizan los voltajes tanto de las celdas como el promedio de cada batería, estas variables dentro de la programación permiten el seguimiento en el sistema del estado de las baterías, de las fallas que se pueden presentar y alarmas.

En la Figura 3.9 (b) se observan algunas de las variables como son la temperatura de las dos partes del equipo, así como también las corrientes de las dos baterías y variables del sistema que representan algún cambio en la detección de fuentes como en las baterías.



Figura 3.9. Variables del sistema: (a) voltajes en las baterías. (b) otras variables

En la Figura 3.9 (a) se observa un voltaje promedio de la batería 1 que corresponde al promedio de las tres celdas, para este caso el voltaje de la celda 3 es de 11,55V lo cual indica que se ha conectado la batería sin el conector de las celdas siendo el promedio el

valor anterior dividido para 3. Se han detectado todas las celdas de la batería 2 por lo cual el voltaje de esta batería es el promedio de las tres celdas.

Control del convertidor Buck&Boost

Como fuente de alimentación se empleó un convertidor Buck&Boost comercial como se puede observar en la Figura 3.10 (a) el mismo que con la electrónica descrita en el capítulo anterior se realiza la carga de las baterías LIPO aplicando un controlador PI. Además, mediante pruebas en otros convertidores comerciales del mismo tipo que se pueden observar en la Figura 3.10 (b), (c) y (d), se comprobó que la electrónica implementada funciona de manera similar realizando cambios en los valores de los elementos utilizados.

También cabe recalcar que cada convertidor comercial presenta sus propias características siendo la principal la frecuencia de operación por lo cual se debe realizar un ajuste de los elementos y de la frecuencia de la señal del microcontrolador para su aplicación y control.

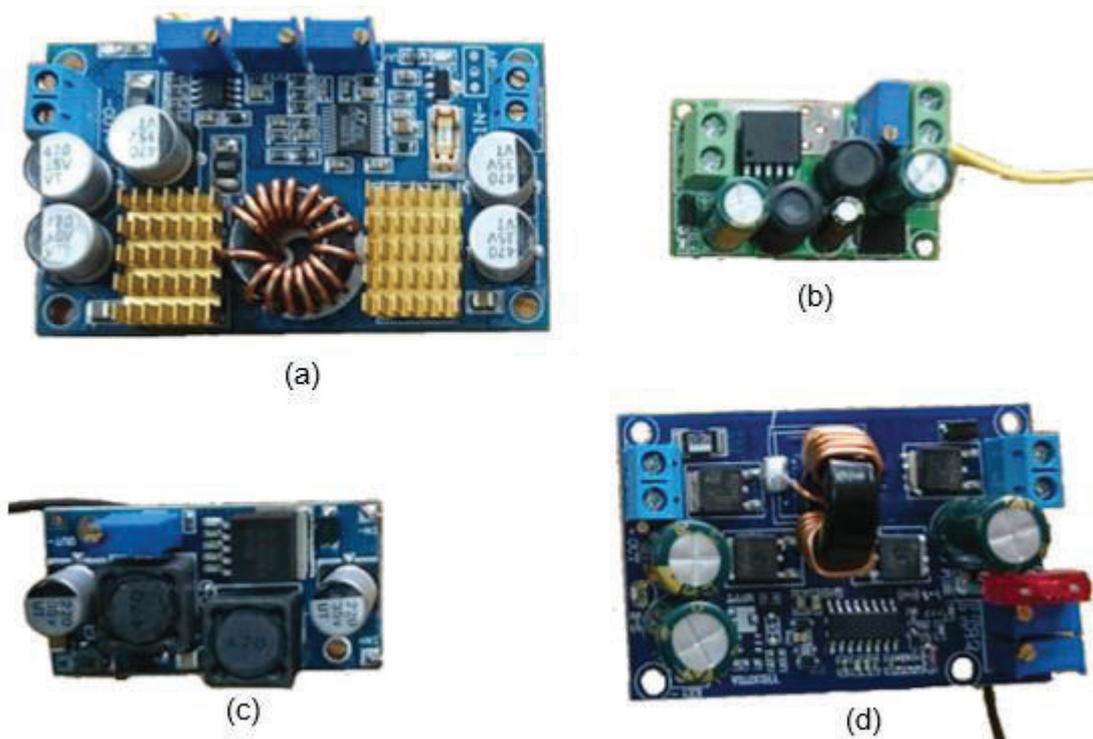


Figura 3.10. Convertidores Buck&Boost comerciales: (a) LTC3780EG. (b) XL6019E. (c) XL6009E1. (d) YH11072A

Control de carga de baterías

Controlador PI (calibración)

La calibración del controlador se la realizó heurísticamente. La corriente de referencia para la carga de las baterías es de 2.5A es decir 0.5C de la corriente nominal con lo cual se

garantiza un valor adecuado de carga ya que debe ser menor a 1C de la corriente nominal de la batería.

En la Figura 3.11 se tiene la respuesta transitoria para las constantes de $K_p=0,022$ y $K_i=0.029$, donde se tiene un sobre-impulso aproximadamente del 20% con un error de $\pm 6\%$. El controlador se encuentra discretizado con un tiempo de muestreo de 0.01s debido a que el comportamiento de la planta es lento, se observa la salida en el controlador en la Ecuación 3.1.

$$u = 0.022(e - e_1) + 0.029Te + u_1$$

Ecuación 3.1 Ecuación del controlador discretizada

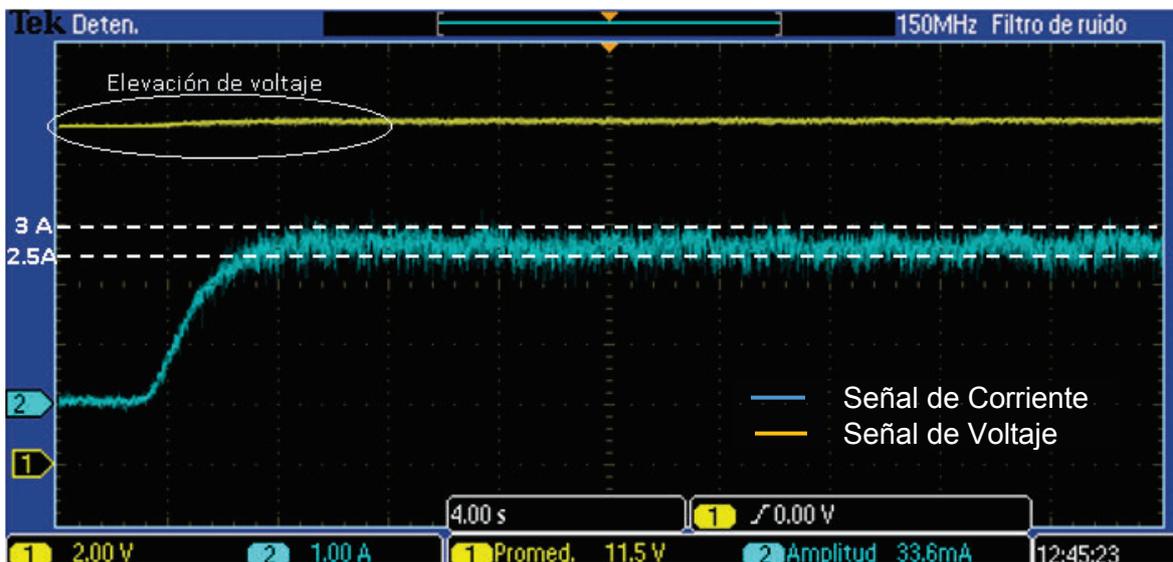


Figura 3.11. Respuesta de estado estacionario de corriente con $k_p=0.022$, $k_i=0.029$

Balanceo de celdas

El algoritmo de balanceo de celdas se activa después de ser realizada la carga de las baterías. Se realiza la descarga celda por celda en función de voltaje de las mismas, la celda que tenga un voltaje mayor a las demás será descargada hasta el voltaje menor de las tres celdas como se puede observar en la Figura 3.12 (a), el algoritmo realiza el balanceo hasta que las tres celdas se equiparen en voltaje teniendo al final de la carga de la batería las tres celdas balanceadas como se puede observar en la Figura 3.12 (b).

La descarga de las celdas se da por una carga resistiva, la energía excedente es disipada en forma de calor por lo que el sistema acciona el sistema de ventilación para que no se concentre calor dentro del equipo.

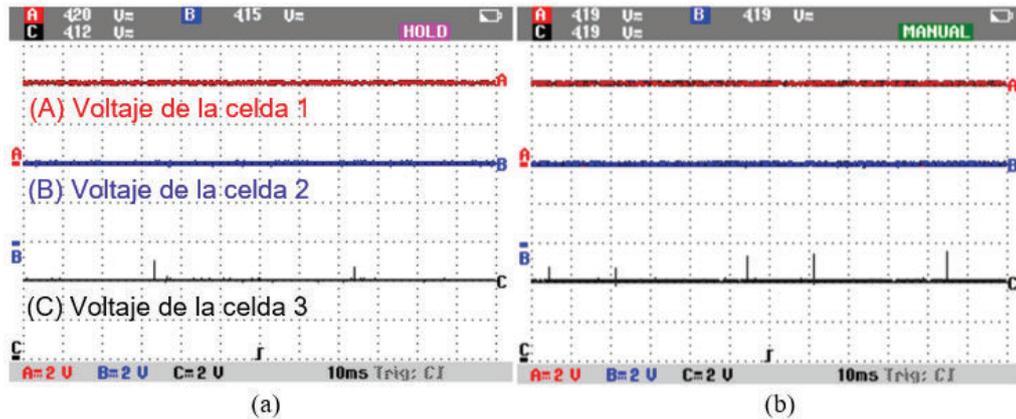


Figura 3.12. Voltajes de celdas desbalanceadas y balanceadas: (a) celdas desbalanceadas. (b) celdas balanceadas

Pruebas de funcionamiento

La carga de las baterías se da mediante una priorización siendo la batería 2 la de mayor prioridad por delante de la batería 1. La batería 1 suministra energía al sistema cuando tenga más del 30% de carga para realizar la carga de la batería 2 como se puede observar en la Figura 3.13 (a).

El proceso de carga de la batería 1 se da bajo dos condiciones, la primera cuando ha finalizado la carga de la batería 2 como se puede observar en la Figura 3.13 (b) y cuando no se encuentre conectada la parte 2 del equipo lo que da una alerta de no detección de la batería 2 como se puede observar en la Figura 3.13 (c).

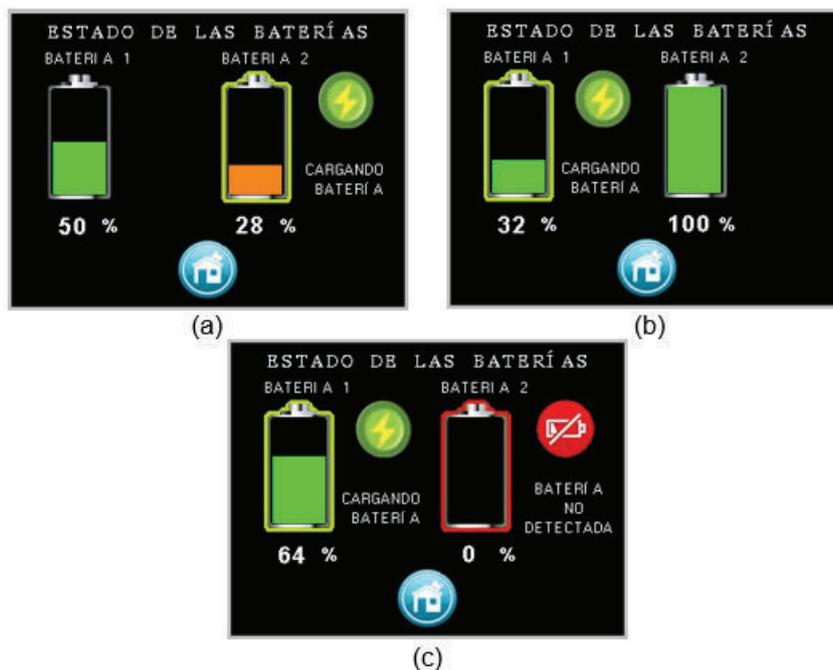


Figura 3.13. Carga de las baterías 1 y 2: (a) carga de la batería 2. (b) Carga de la batería 1 después de la 2. (c) carga de la batería 1 sin la 2

La parte 2 del equipo presenta un funcionamiento individual y para que el equipo a ser conectado como carga tenga conocimiento del estado de la batería 2 se incluye un puerto como se observa en la Figura 3.14 en el cual mediante dos pines se muestra el nivel de la batería de acuerdo a la Tabla 3.2.

Como una señal visual en esta parte del equipo se incluyen dos leds de visualización correspondientes a los bits mencionados y cuya activación se da mediante la Tabla 3.2 y como se puede observar en la Figura 3.15 (a) la combinación binaria "00", en la Figura 3.15 (b) la combinación "01", en la Figura 3.15 (c) la combinación "10" y en la Figura 3.15 (d) la combinación "11".



Figura 3.14. Conector del puerto de información del estado de la batería 2

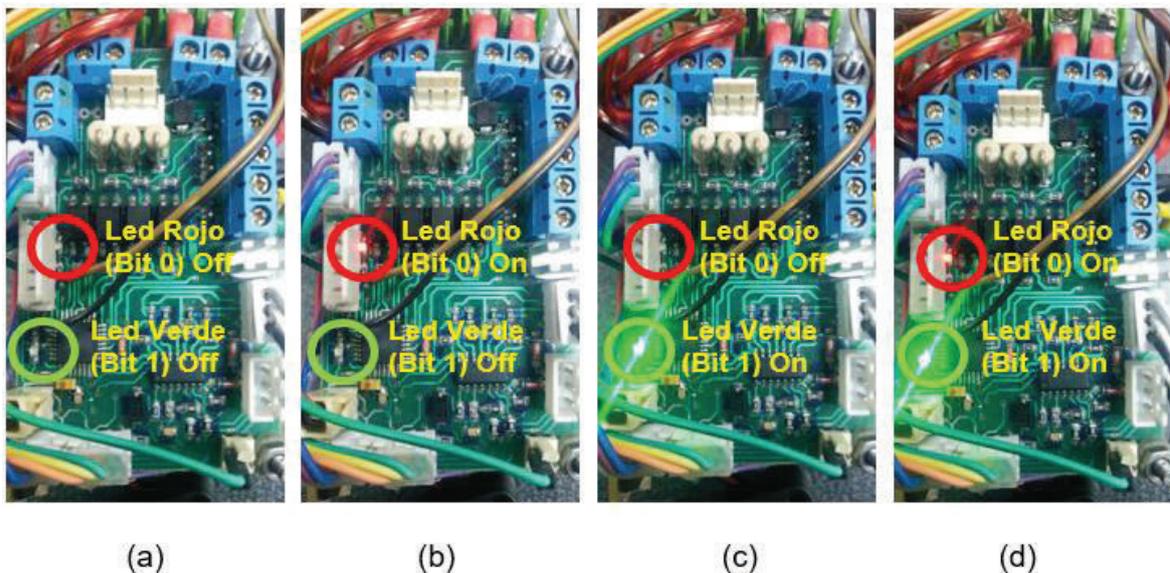


Figura 3.15. Encendido de los leds informativos del nivel de la batería 2: (a) combinación 0-0. (b) combinación 0-1. (c) combinación 1-0. (d) combinación 1-1

Tabla 3.2. Rangos de niveles de energía de la batería 2

BIT 1 (LED VERDE)	BIT 0 (LED ROJO)	NIVEL DE LA BATERÍA (%)
0	0	del 0 al 24
0	1	del 25 al 49
1	0	del 50 al 74
1	1	del 75 al 100

Potencia suministrada por el equipo

Para comprobar la potencia que puede proporcionar el equipo se realizaron pruebas con una carga resistiva la misma que representa al equipo.

En la Figura 3.16 se muestran los elementos y equipos empleados para realizar la prueba con carga. Se puede observar las dos partes del equipo que son conectadas por un cable de comunicación/alimentación, para poder tomar las formas de onda necesarias se emplea un osciloscopio con una punta para medición de voltaje del Bus DC y una pinza de corriente.

En serie con la carga se encuentra un amperímetro para poder observar de manera instantánea la corriente que está suministrando el equipo. Los reóstatos empleados permiten manejar una corriente de 2.7 A, puesto que la corriente suministrada por el equipo es mayor se emplean dos en configuración paralelo para distribuir la corriente.

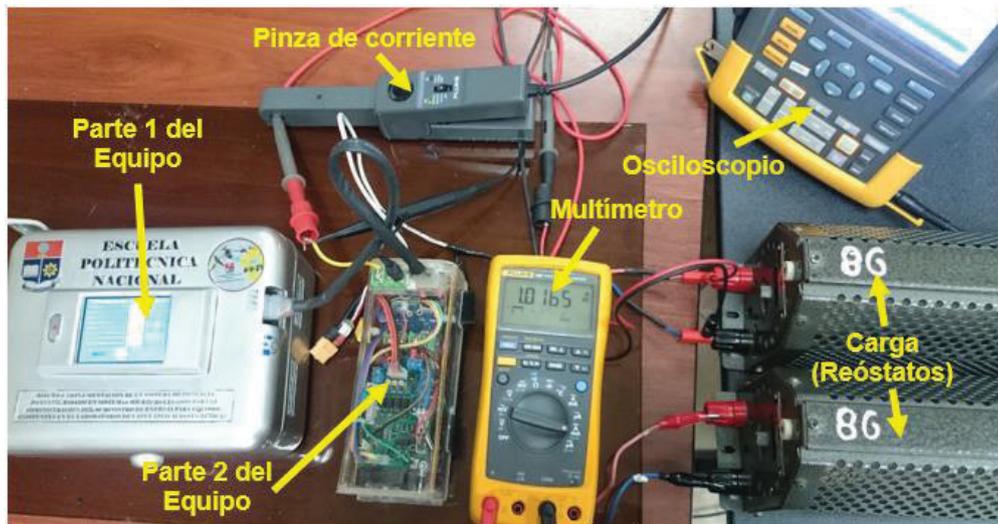


Figura 3.16 Esquema de conexión para pruebas de carga.

Para obtener diferentes valores de potencia se realizó un ajuste en los reóstatos con los cuales se obtiene un valor de corriente más elevado.

En la Figura 3.17 se puede observar en color rojo el voltaje del bus DC del equipo de valor 12.36V con una escala de 10V por división, en azul la corriente en la carga con una escala de 2A por división y en amarillo la operación de multiplicación de las dos señales anteriores que representan la potencia. Se puede observar diferentes valores de corriente siendo estos valores 1.41, 3.06 y 4.40 [A] que corresponden a valores de potencia de 17.43, 37.82 y 54.38 [W] respectivamente.

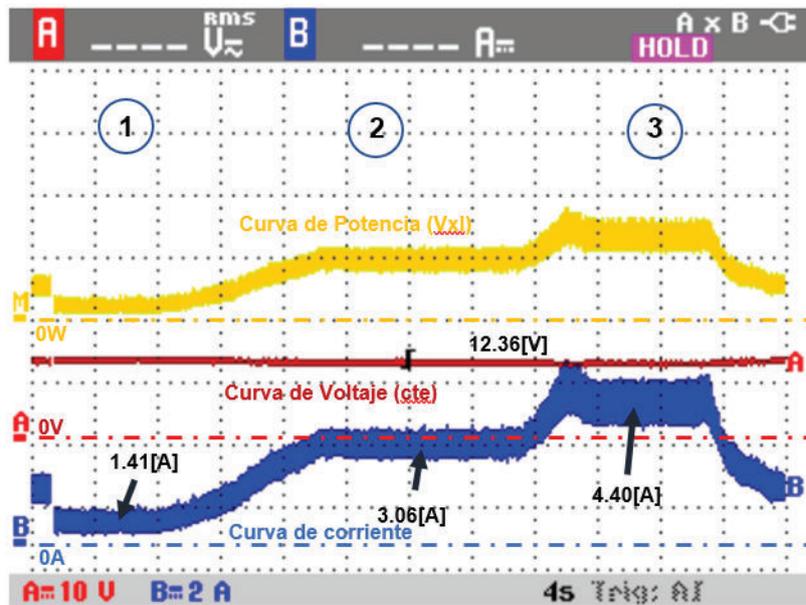


Figura 3.17. Respuesta ante variación de carga

Los valores de corriente en los tramos descritos de la figura anterior fueron tomados también por el multímetro cuyos valores son reflejados en la Figura 3.18 (a) para la parte 1, Figura 3.18 (b) para la parte 2 y la Figura 3.18 (c) para la parte 3 de la figura anterior.

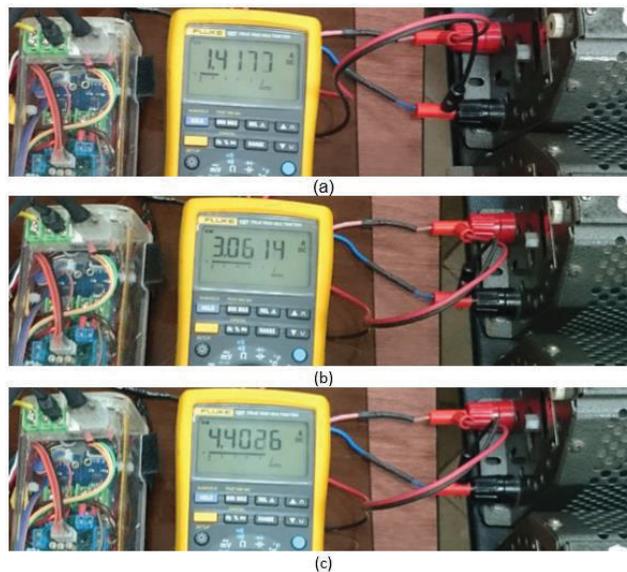
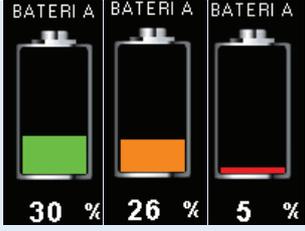


Figura 3.18. Valores de corriente: (a) 1.4177 [A]. (b) 3.0614 [A]. (c) 4.4026 [A]

Estado de las baterías

En la interfaz gráfica se presenta los estados, alertas y advertencias que se dan con la conexión de las baterías como se describen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Estados, alarmas y alertas de las baterías

ALARMA O SEÑAL	DESCRIPCIÓN
	Estados de las baterías 1 y 2, se presentan cuando las baterías se están descargando. En verde cuando el nivel supera el 30%, en naranja cuando es inferior al 30% y en rojo cuando estén totalmente descargadas.
	Señal informativa que indica que una de las baterías se encuentra cargando.
	Señal de Advertencia de no detección de las celdas de la batería. El sistema no realiza la carga de la batería solo descarga.
	Señal de alarma de que se ha producido un daño en una o más celdas. El equipo utilizará a la batería si no se encuentran conectadas las fuentes de alimentación hasta llegar al límite inferior de las celdas que se encuentren en buen estado.
	Señal informativa de no detección de batería, el equipo no realiza acción alguna sobre esta.

Curva de carga de las baterías

Etapa de corriente constante

La etapa de corriente constante se observa en la Figura 3.19 donde se tiene el crecimiento de voltaje a corriente constante durante 1000s, el crecimiento en este tiempo es de 0.2V, para que la batería se encuentre totalmente cargada se requiere un voltaje de 12.6V, mientras el voltaje mínimo es de 11.1V, para aumentar la vida útil de la batería no se permite su descarga total. Cuando el estado de carga de la batería sea inferior al 30%

(Aproximadamente 11.55V) se carga la batería, sin embargo, el equipo puede cargar baterías que cuenten con un voltaje menor al 30%.

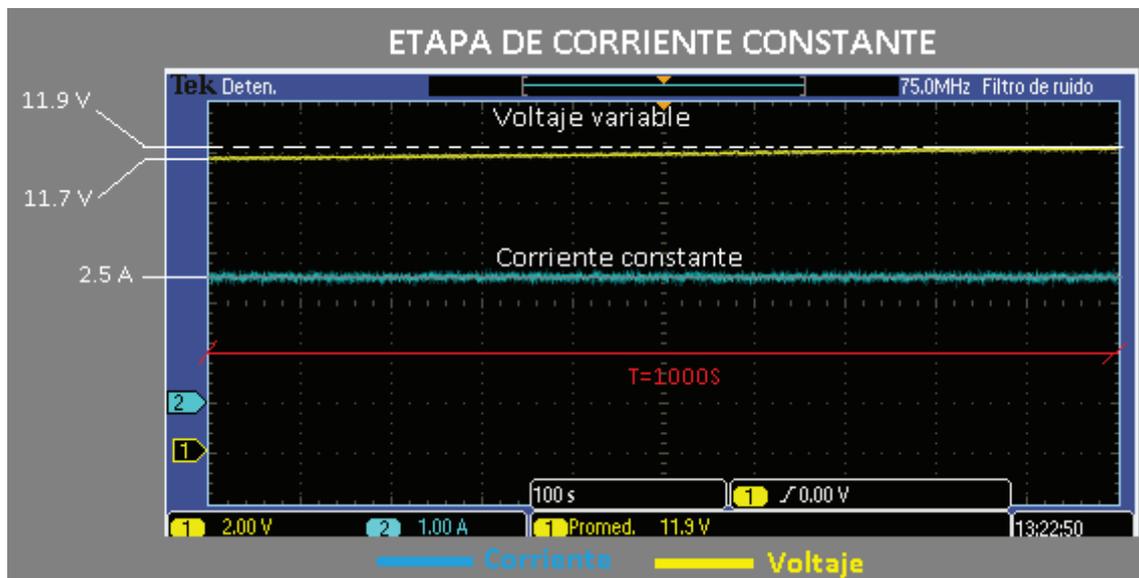


Figura 3.19. Etapa corriente constante - voltaje variable

Etapa de voltaje constante

En la Figura 3.20 se observa el comienzo de la etapa de saturación cuando se está cargando la batería, en los primeros 700 segundos se observa un descenso de corriente de 0.5 A, mientras el voltaje permanece constante en 12.6 V.

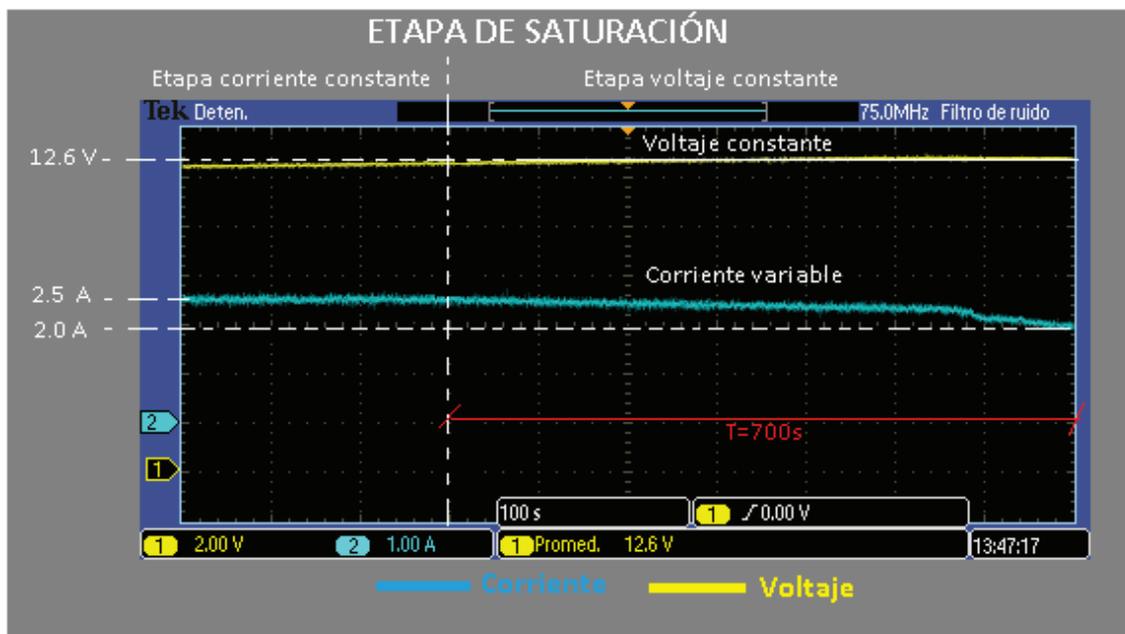


Figura 3.20. Etapa de saturación: Corriente variable-voltaje constante

En la Figura 3.21 se muestra la carga completa de una de las celdas de la batería, la curva que se ha obtenido es similar a la curva recomendada para la carga en corriente constante en una celda y para la etapa de saturación en la carga de una celda de la batería.

En la etapa de corriente constante se observa el incremento de voltaje desde 3.85V hasta 4.2V, cuando ingresa a la etapa de saturación el voltaje se eleva hasta 4.25V mientras la corriente decrece hasta 0.3A que equivale al 6% de la corriente nominal y cuando esta etapa finaliza el voltaje termina en 4.2V con lo que se logra la carga completa de la batería lipo.

Sin embargo, este voltaje muestra que la celda se encuentra cargada al 100%. Mediante el censado de las tres celdas se verifica el nivel de voltaje en las mismas ya que el nivel de voltaje máximo es de 4.2V que al pasar por la etapa de balanceo se disminuye el porcentaje de carga a un mínimo del 90%.

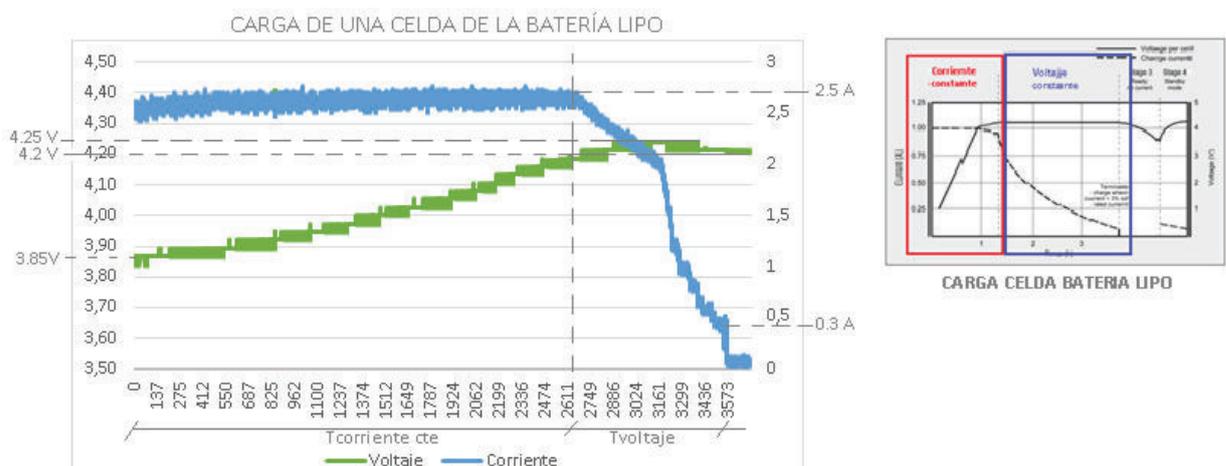


Figura 3.21. Corriente constante a voltaje variable en una celda

En la Figura 3.21 se tiene la curva total de la carga de la batería desde el 28% hasta el 97.33%, se observa que la gráfica se asemeja a la curva de carga que recomienda el fabricante.

Tenemos una corriente constante de 2.5A que representa una tasa de carga de 0.5C, en la etapa de saturación la corriente desciende a un 6% de la corriente nominal de la batería de 5000mA. La carga completa se realiza en un tiempo aproximado de una hora, este tiempo puede variar dependiendo del estado de la batería, es decir, mientras la batería se encuentre en mejores condiciones el tiempo de carga será mayor.

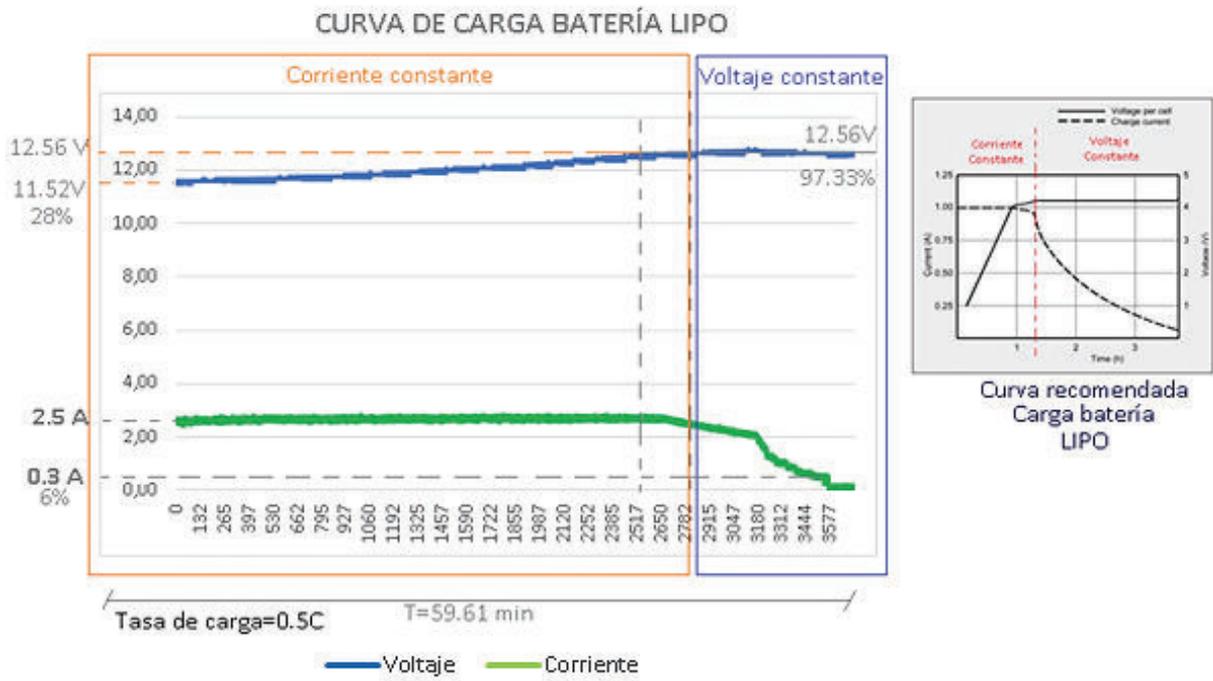


Figura 3.22. Curva total de carga de la batería LIPO

4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo, la implementación y las pruebas de funcionamiento realizadas en este proyecto de titulación se ha llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

4.1. Conclusiones

- El trabajo de titulación que se ha desarrollado cumple con los objetivos planteados, es decir el sistema de administración de energía diseñado a base de convertidores comerciales Buck & Boost suple los requerimientos energéticos de los equipos del laboratorio de UAVs y Aplicaciones Ópticas del Departamento de Automatización y Control Industrial-DACI de la Escuela Politécnica Nacional-EPN.
- El equipo desarrollado consta de 3 fuentes de energía: red eléctrica, panel fotovoltaico y la batería de un automóvil, lo cual le permite funcionar en diferentes campos aprovechando existente. El equipo además puede trabajar con otras fuentes de energía que tengan características similares a las del panel fotovoltaico o la batería de automóvil, siempre cuando y cuando no se exceda los límites de alimentación especificados del sistema.
- El algoritmo para la conmutación de fuentes permite al equipo garantizar continuidad en el suministro de energía, además de aprovechar la energía de la fuente que se encuentre alimentando al sistema. Ya que se considera como fuente de alimentación a un panel solar y la energía que puede generar es variable se toma en consideración que la batería 1 puede trabajar a la par compensando la necesidad energética.
- El sistema implementado posee dos partes que constan de baterías independientes. Se ha priorizado la carga de la batería 2 ya que la misma está destinada a brindar energía a los equipos desarrollados en el laboratorio, siendo una característica de estos el ser móviles. Se ha tomado en cuenta que ninguna de las dos baterías puede descender del 10% de su carga total para evitar que se gasifiquen.
- Mediante las pruebas realizadas se ha observado que el controlador tipo PI satisface los requerimientos de control del sistema para la carga de las baterías lipo. Con el controlador implementado se ha obtenido la curva de carga de la batería de gran similitud a la recomendada por los fabricantes, aportando así a mantener el tiempo de vida útil dado por el fabricante y no sacrificar las baterías como normalmente lo hacen los cargadores comerciales.

- El algoritmo de balanceo de celdas mejora el desempeño de las baterías con lo que se evita daños por exceso de carga en cualquiera de las celdas.
- La interfaz que se ha desarrollado en la pantalla Nextion permite que el usuario conozca el estado de las baterías, así como el de las fuentes. En las pantallas que se han implementado se puede observar las fuentes que se encuentren conectadas y cuál de ellas se encuentra suministrando energía al sistema. También se puede observar las avisos y alarmas generadas por el sistema para que el operador pueda tomar las medidas necesarias.
- Se ha logrado reducir el tamaño del equipo mediante el uso de convertidores comerciales. Además, estos nos han permitido obtener mayor potencia en menor espacio. También se ha utilizado el elemento de potencia mosfet como interruptor con el fin de evitar el uso de relés mecánicos, entre otros dispositivos que ocupan mayor espacio y menor tiempo de vida útil respecto a dispositivos de estado sólido.
- Debido a que los convertidores comerciales Buck&Boost utilizados requieren de un control manual se ha implementado la electrónica adicional necesaria para automatizar el control de los convertidores comerciales Buck&Boost, esto se lo realiza a través de un microcontrolador.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda leer el manual de usuario antes de utilizar el equipo. No se recomienda manipulación de las partes internas del sistema, excepto únicamente de los conectores previamente especificados. Se establecen límites de funcionamiento y de alimentación que harán que el equipo brinde los resultados esperados.
- Se recomienda que el equipo no sea instalado en áreas expuestas a altas temperaturas ambientales, exceso de humedad en el ambiente, agua o polvo ya que puede causar daños en la electrónica de potencia lo cual generaría funcionamientos anormales del mismo.
- En este proyecto se buscó utilizar la mayor cantidad de elementos de montaje superficial (smd) con el fin de reducir principalmente el tamaño de las placas electrónicas de control. Se recomienda buscar información acerca de normas de manipulación y técnicas de soldadura de este tipo de elementos como el estándar de soldadura IPCA 610.

- Con fines investigativos se recomienda realizar más pruebas o variaciones al circuito de control de convertidores estáticos de energía comerciales desarrollado en este proyecto de investigación ya que se puede encontrar más usos en futuros proyectos con un esquema de control simple y con potencias muy significativas, además de un tamaño reducido.
- Se recomienda una tasa de carga entre 0.5C y 1C con el fin de aumentar la vida útil de la carga. El fabricante recomienda una tasa de carga incluso menor al 0.8C. si se necesita cargar en menor tiempo es recomendable no cargar a las baterías a tasas de carga mayores a 1C ya que se corre el riesgo de que se produzca calentamiento y explote.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. J. Cruz Ardila, "Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa," *Entramado*, vol. 9, no. 2, pp. 234–248, 2013.
- [2] N. Mohan *et al.*, *Electrónica de potencia: Convertidores, aplicaciones y diseño*. México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2009.
- [3] J. A. García Saucedo, "Diseño de un cargador de Li-ion para obtener la máxima potencia de un panel solar.," Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, 2009.
- [4] A. S. Tituaña, "Estudio de la incorporación de baterías en sistemas fotovoltaicos," Universidad de Barcelona, Barcelona, 2016.
- [5] J. Calderón, "Administración de energía en aplicaciones embedded," May-2007.
- [6] D. H. Krell, "Administración de la energía," *Emprendedores News*, España, Enero-2017.
- [7] J. Romero, "Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró," Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2015.
- [8] Montoya, "Conceptualización del efecto fotoeléctrico," Guías de Apoyo, Guía Conceptual de Física, 2015.
- [9] E. Delgado Trujillo, "Diseño de una instalación y alimentación eléctrica de un comedor industrial por medio de generación distribuida," Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2012.
- [10] G. Almonacid, "Curso de energía solar fotovoltaica," *El efecto fotovoltaico*. [Online]. Available: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm. [Accessed: 29-Oct-2018].
- [11] V. Ossa Arango, "Ensamble y caracterización de un panel solar fotovoltaico.," Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2017.
- [12] "Curso de Energía Solar Fotovoltaica," *La célula solar*, 2016. [Online]. Available: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_03.htm. [Accessed: 29-Oct-2018].
- [13] J. Cata and F. Rodríguez, "Análisis matemático de un panel solar fotovoltaico de silicio," Científico, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2015.
- [14] E. Huerta Mascotte, R. Mata Chavéz, J. Estudillo-Ayala, J. Sierra Hernández, I. Guryev, and R. Lizárraga Morales, "Estudio de las características de una celda fotovoltaica para el uso eficiente de la energía solar," *Acta Univ.*, vol. 26(NE-1), pp. 30–34, Feb. 2016.
- [15] D. A. Arenas Sánchez and H. S. Zapata Castaño, "Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones," Educativo, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2011.
- [16] J. Fernández Ferichola, "Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil," Científico, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2009.
- [17] Ó. Perpiñán Lamiguero, A. Colmena Santos, and M. Castro Gil, *Diseño de sistemas fotovoltaicos*. Creative Commons, 2012.
- [18] del futuro Ciudades, "7 tipos de almacenamiento de energía que deberías conocer - Ciudades del Futuro.," *Ciudades del futuro | El Blog de Siemens España*, 26-Oct-2016.
- [19] O. E. Doñán Velasco and S. J. Sermeño Mena, "Diseño de una pila de combustible de hidrógeno para producir una diferencia de potencial de 12 voltios," Científico, Universidad Don Bosco, El Salvador, 2008.
- [20] Battery University, "Lithium-based Batteries Information – Battery University," 2018. [Online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries. [Accessed: 11-Jul-2018].
- [21] T. Reddy and D. Linden, *Linden's Handbook of Batteries (4th Edition)*. New York, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2010.
- [22] R. Muhammad H., *Power Electronics Handbook*, Academic Press. Canadá, 2001.

- [23] M. Pantaleo, "Conceptos sobre fuentes conmutadas." Universidad Nacional de la Plata, May-2007.
- [24] Electronilab, "Módulo LM2596 Convertidor de Voltaje DC-DC Buck 1.25V-35V," *Electronilab*, 2018.
- [25] M. Naylamp, "Convertidor de Voltaje DC-DC Step-Down 5A LM2596," *Naylamp Mechatronics* - Perú. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/49-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-5a-xl4005.html?search_query=step+down+&results=9. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [26] Naylamp, "Convertidor Voltaje DC-DC Step-Up 2.5A XL6009 - Naylamp Mechatronics - Perú," *Naylamp Mechatronics*. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/125-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2p5a-xl6009.html>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [27] Hyelesiontek, "DC DC Convertidor módulo XL6009 4A DC Variateur Boost Convertidor módulo USB ajustable regulador de voltaje de la fuente de alimentación en Circuitos integrados de Componentes y sistemas electrónicos en AliExpress.com | Alibaba Group," *Aliexpress*. [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/XL6009-DC-DC-Adjustable-Step-up-Boost-Power-Converter-Module-XL6009-Replace-LM2577/32444618409.html>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [28] M. Naylamp, "Convertidor de Voltaje DC-DC Step-Up-Down 7A LTC3780," *Naylamp Mechatronics* - Perú. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/408-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-down-7a-ltc3780.html?search_query=ltc3780&results=1. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [29] L. Technology, "High Efficiency, Synchronous, 4-Switch Buck-Boost Controller," *Científica*. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3780ff.pdf>. [Accessed: 17-Jan-2019].
- [30] C. INC, "Ac-Dc Power Supplies | Switching Power Supplies | CUI Inc." [Online]. Available: <https://www.cui.com/catalog/power/ac-dc-power-supplies>. [Accessed: 17-Jan-2019].
- [31] D. Rallo, "¿Por qué implantar un sistema de gestión de energía? | Zemsania Global Group," *Zemsania Global Group*. [Online]. Available: <https://www.zemsania.com/sistema-de-gestion-de-energia/>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [32] E. Omega, "Acondicionadores de señales," *OMEGA*. [Online]. Available: <https://mx.omega.com/prodinfo/acondicionadores-de-senales.html>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [33] M. A. Perez, *Instrumentación Electrónica*, Tercera., vol. 31. Thomson-Paraninfo, 2015.
- [34] E. AV, "Pantalla Nextion 5" | AV Electronics," *AV Electronics*. [Online]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/pantalla-nextion-5/>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [35] ATMEL, "ATmega164P/V-ATmega324P/V-ATmega644P/V." Alfaomega Marcombo, 2017.
- [36] T. Microchip, "ATmega328P - 8-bit AVR Microcontrollers - Microcontrollers and Processors," *Microchip*. [Online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328P>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [37] T. Microchip, "ATmega164P - 8-bit AVR Microcontrollers - Microcontrollers and Processors," *Microchip*. [Online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega164P>. [Accessed: 05-Nov-2018].

6. ANEXOS

ANEXO I

MANUAL DE USUARIO

ÍNDICE

- I.1. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.
- I.2. INTRODUCCIÓN
 - I.2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.
 - I.2.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.
- I.3. INSTALACIÓN.
- I.4. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.
 - I.4.1. FUNCIONAMIENTO INDIVIDUAL.
 - I.4.2. FUNCIONAMIENTO EN CONJUNTO.
- I.5. INTERFAZ GRÁFICA.
- I.6. ALARMAS, FALLAS Y POSIBLES SOLUCIONES.

I.1. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.

CONSULTAR ESTE MANUAL ANTES DE LA INICIACIÓN DEL EQUIPO O DURANTE SU USO. La información presentada a continuación garantizará el correcto funcionamiento del equipo, así como su duración en el tiempo.

- Tome en consideración el tipo de conector de las fuentes de alimentación y para el caso de las fuentes de DC. Tomar en cuenta la polaridad.
- No exceder los límites de alimentación especificados de cada fuente de alimentación.
- No obstruya la entrada de aire del sistema de ventilación.
- No exponga el equipo a ambientes demasiado húmedos o con presencia de agua.
- Asegúrese de usar baterías LIPO en buenas condiciones (sin daños de celdas y en lo posible no gasificadas).
- En caso de requerir cambios en los fusibles, consulte en este manual el valor del mismo.
- Tenga cuidado en la manipulación de la pantalla, no acerque o utilice objetos cortopunzantes.

I.2. INTRODUCCIÓN.

El presente manual tiene como objetivo orientar al operador acerca de la conexión, puesta en marcha y funcionamiento del equipo, de los límites de funcionamiento, además de las protecciones que se incluyen en el mismo, se muestran las gráficas de alarmas del sistema las cuales ayudarán al operador a tomar una acción para que el equipo lleve un funcionamiento adecuado.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.

El equipo ha sido diseñado para trabajar con los siguientes valores y rangos de voltaje de las fuentes de alimentación. Se presenta también los valores de los fusibles instalados para su reemplazo de ser el caso.

Tabla I. 1. Especificaciones técnicas

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Voltaje de Red	Voltaje de la red eléctrica.	110 a 120	V
Voltaje auto	Voltaje de la batería de automóvil.	12 a 24	V
Voltaje panel solar fotovoltaico	Voltaje máximo de entrada desde el panel solar fotovoltaico	24	V
Batería LIPO	Tipo de baterías a utilizar 3 celdas.	11,1	V
Corriente máxima	Máxima corriente que suministra el equipo.	4,5	A
Bus DC	Valor referencial del Bus DC en el Equipo.	13,2	V
Potencia	Potencia de diseño del equipo hasta.	50	W
Fusibles	Fusible de protección red eléctrica.	0,5	A
	Fusible de protección batería de auto.	5	A

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

En la Figura I. 1, Figura I. 2 y Figura I. 3 se muestra los componentes exteriores e interiores del sistema de energía implementado, la descripción de las partes del equipo se detalla a continuación:

21. Pantalla de interfaz gráfica.
22. Botón de encendido de pantalla.
23. Entrada del sistema de ventilación.
24. Entradas para fuentes de alimentación.

25. Conector de alimentación y comunicación con placa 2.
26. Botón de encendido del equipo.
27. Conector de batería 1.
28. Conector de celdas batería 1.
29. Correas de sujeción para la batería 1.
30. Conector de red eléctrica.
31. Conector de batería de automóvil.
32. Conectores para panel solar.
33. Conector de alimentación y comunicación con placa 1.
34. Conector de señales informativas de estado de la batería 2.
35. Borneras para alimentación a la carga.
36. Entrada de ventilación placa 2.
37. Conector de batería 2.
38. Conector de celdas batería 2.
39. Correas de sujeción para la batería 2.
40. Cable de comunicación y alimentación entre partes.

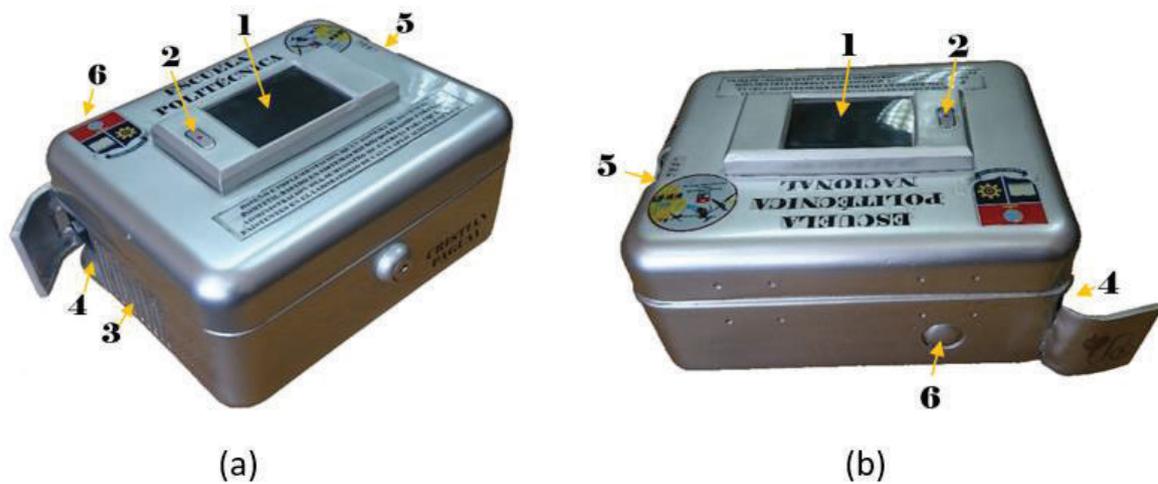


Figura I. 1. Vistas exteriores de la parte 1 del equipo

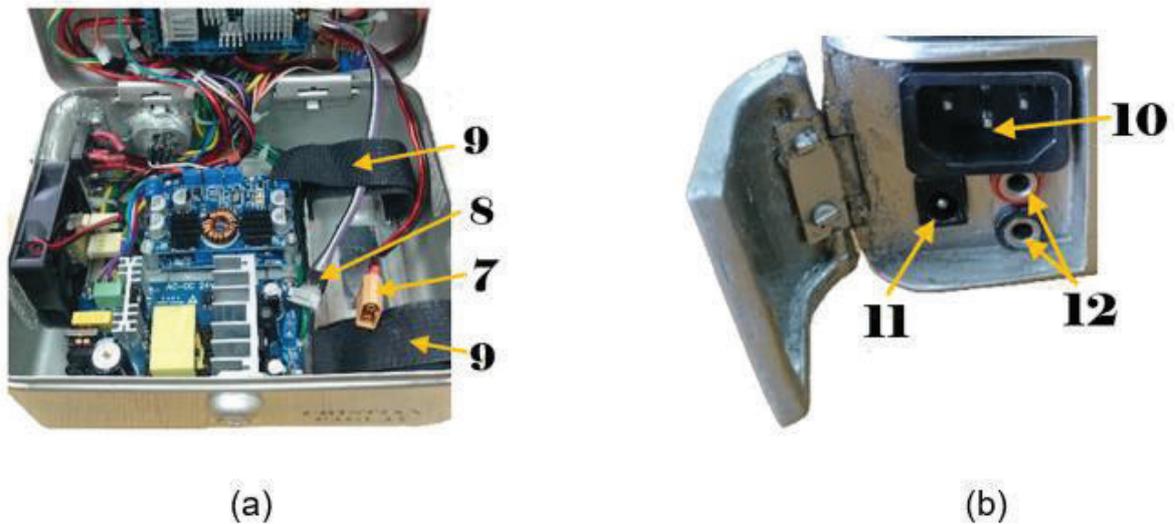


Figura I. 2. Parte interior y conector de fuentes de la parte 1 del equipo

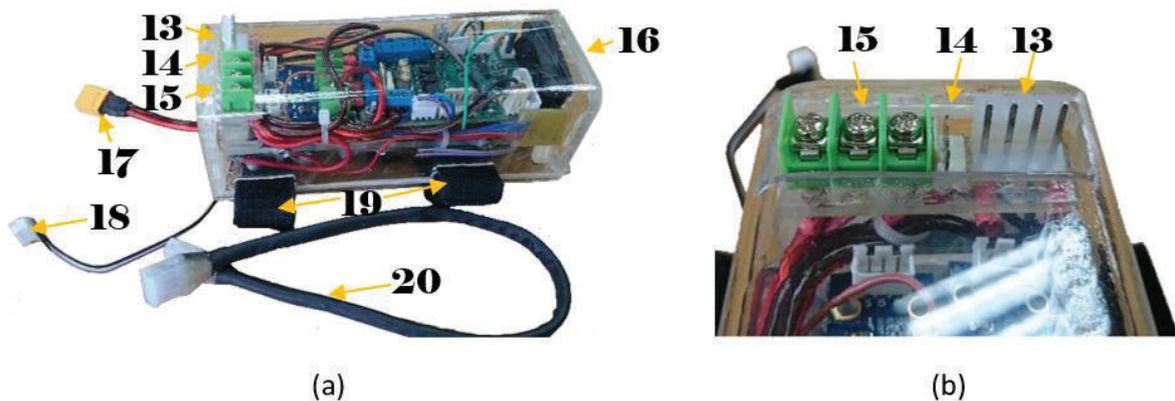


Figura I. 3. Vistas exteriores de la parte 2 del equipo

INSTALACIÓN.

Para el funcionamiento del equipo se requiere de la instalación de las baterías o de una fuente de alimentación. La instalación de las baterías se debe realizar en el lugar correspondiente. Para el caso de la caja metálica o parte 1 del equipo se debe abrir la misma y colocar la batería en el lugar correspondiente sujetándola con las correas de sujeción, conectando el terminal de la batería y el conector de las celdas como se puede observar en la Figura I. 2 (a). Para el caso de la caja de acrílico o parte 2 del equipo se tiene en el exterior de la misma las correas de sujeción y los conectores tanto del terminal y de las celdas de la batería, como se puede observar en la Figura I. 3 (a).

PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

Como puede observarse en las figuras anteriores el equipo está diseñado para trabajar con las dos partes (parte 1 y parte 2 del equipo) de manera individual como en conjunto. Para

el caso en que no se encuentren conectadas las dos partes por el cable de alimentación/comunicación (numeral 20) las dos partes trabajarán de manera individual por separado, siendo alimentada la parte 1 con una de las fuentes.

Para iniciar la interfaz gráfica se debe presionar el botón de inicio de pantalla señalado anteriormente. La pantalla entra a un modo de hibernación después de 1 minuto de inactividad por lo que se deberá presionar nuevamente el botón.

FUNCIONAMIENTO INDIVIDUAL.

Para el encendido del equipo se requiere de una fuente de energía. En el caso de la primera parte del sistema (caja metálica), requiere para su activación de la batería o de cualquiera de las fuentes de alimentación. Por defecto el equipo requiere de un voltaje en el bus DC el mismo que se obtiene de las siguientes maneras:

- Cuando el equipo es alimentado por la red eléctrica estando o no conectada la batería 1 el equipo se energizará automáticamente sin requerir ninguna otra acción.
- Cuando se conecta por primera vez la batería 1, las fuentes de alimentación automóvil o panel solar, se requiere de la activación del sistema por el botón de encendido. Una vez iniciado el sistema este permanecerá en funcionamiento continuo a menos que se realice una acción de apagado.

Una vez iniciado el equipo este automáticamente realizará acciones en función del estado del sistema y de la fuente que se encuentre conectada, dichas acciones se detallan a continuación:

- **CARGA DE LA BATERÍA 1.** Cuando se haya detectado una de las tres fuentes de alimentación y la batería 1 no se encuentre totalmente cargada.
- **BALANCEO DE CELDAS.** Cuando la carga de la batería se haya concretado y las celdas de la batería no se encuentren balanceadas.

Nota: En caso de conexión de más de una fuente de alimentación el sistema tomará energía únicamente de una tomando en cuenta la siguiente priorización: primero la red eléctrica, segundo la batería del automóvil, tercero el panel solar y cuarto la batería 1 si no se encuentran conectadas ninguna de las fuentes.

La segunda parte del equipo (caja de acrílico) puede funcionar de manera independiente teniendo una batería conectada en los terminales, en este caso en funcionamiento individual esta parte del sistema de energía únicamente alimenta a la carga o equipo

conectado y la desconecta cuando ha llegado al límite inferior de la batería para proteger a la misma.

FUNCIONAMIENTO EN CONJUNTO.

El funcionamiento en conjunto se da cuando las dos partes se encuentran conectadas y existe comunicación entre ellas, se tiene los siguientes casos en función de la dinámica del sistema:

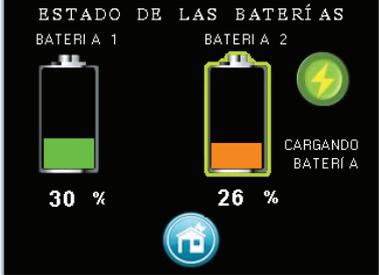
- **EQUIPO CON CONSUMO SUPERIOR A 2.5 [A].** En este caso el equipo administra la energía tanto de las fuentes de alimentación (red eléctrica, batería de automóvil o panel solar) como de las dos baterías conectadas. Las baterías suministran energía si presentan un nivel superior al 20%, caso contrario el sistema las inhabilita.
- **EQUIPO CON CONSUMO MENOR A 2.5 [A].** Dada esta condición el equipo verifica el estado del sistema y en base a una priorización de las baterías las carga individual o conjuntamente, en el caso de que se realice de manera individual la batería que se carga primero es la batería 2 siendo está considerada más importante que la batería 1.
- **CARGA DE LAS BATERÍAS 1 Y 2.** Esta función se da en base a los casos anteriormente descritos y en base a la priorización de las baterías. Tanto para la batería 1 como la 2 la carga se la realiza de la misma manera.
- **BALANCEO DE CELDAS DE LA BATERÍA 1 Y 2.** Una vez realizado el proceso de carga se procede a verificar si existe desbalanceo, en el caso de que exista, el equipo realiza automáticamente el balanceo una vez acabado el proceso de carga respectivo.

NOTA: El equipo realiza la priorización en la activación de fuentes conectadas y selecciona el orden de carga de cada batería de manera automática.

INTERFAZ GRÁFICA.

Debido a que el equipo presenta un funcionamiento autónomo solo requiriendo la conexión de las fuentes de alimentación y las baterías por parte del operador, y para que el mismo pueda estar informado de las acciones y estados del equipo se presentan las pantallas informativas que se describirán a continuación.

Tabla I. 2. Pantallas informativas del equipo

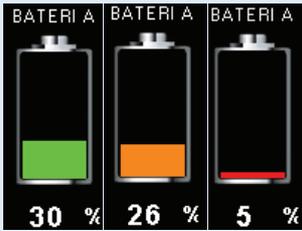
PANTALLA INFORMATIVA	DESCRIPCIÓN
	<p>Pantalla de inicio. Se presenta cuando el equipo se inicia y funciona como pantalla de bloqueo. Para pasar a la siguiente página se debe deslizar un dedo desde la parte izquierda a derecha en la flecha inferior.</p>
	<p>Menú principal. Contiene los enlaces hacia las otras páginas: Fuentes De Energía, Estados De Las Baterías e Información del sistema, este último localizado en la esquina inferior izquierda de la pantalla. Estos íconos deben ser seleccionados para acceder a la respectiva pantalla.</p>
	<p>Estado de las Baterías. Pantalla informativa que presenta los estados de las baterías y las alarmas que se describen posteriormente. Para salir de la pantalla se debe presionar el botón de Home.</p>
	<p>Fuentes de Energía. Pantalla que informa al operador de la fuente que se encuentra conectada al sistema y mediante las flechas se indica cual es la que se encuentra suministrando energía. Para salir de la pantalla se debe presionar el botón de Home el cual redirecciona al Menú Principal.</p>
	<p>Información del Sistema. En esta pantalla se muestra información acerca del desarrollador y versión del sistema. Para salir de la pantalla se debe presionar el botón de Home.</p>

	<p>Pantalla de confirmación de apagado del equipo. Se muestra al ser presionado el botón de apagado y en caso de cancelar se regresará al menú principal.</p>
---	---

ALARMAS, FALLAS Y POSIBLES SOLUCIONES.

En la siguiente tabla se muestran de forma gráfica las señales informativas, de advertencia y de alarma que se pueden presentar durante el funcionamiento del equipo, se incluye también las posibles soluciones a las mismas.

Tabla I. 3. Señales relacionadas con las baterías

ALARMA O SEÑAL	DESCRIPCIÓN	SOLUCIÓN
	<p>Se presenta cuando las baterías se están descargando. En verde cuando el nivel supera el 30%, en naranja cuando es inferior al 30% y en rojo cuando estén totalmente descargadas.</p>	<p>No requiere de acción. Solo es de información al operador.</p>
	<p>Señal informativa de que una o las dos baterías se encuentran cargando.</p>	<p>No requiere de acción. Solo es de información al operador.</p>
	<p>Señal de Advertencia de no detección de las celdas de la batería. No se realiza carga de baterías, solo descarga.</p>	<p>Revise el conector de celdas de la batería respectiva. Si persiste la señal revise el cable.</p>
	<p>Señal de alarma de que se ha producido un daño en una o más celdas. El equipo seguirá funcionando hasta llegar al límite.</p>	<p>Revise el voltaje de cada celda y si es el caso reemplace la batería.</p>
	<p>Señal informativa de no detección de baterías, el equipo no realiza acción alguna sobre esta.</p>	<p>Si se encuentra conectada la batería revise los cables de conexión.</p>

NOTA: Si el equipo no enciende con las fuentes de alimentación, sea la red eléctrica o la batería del automóvil, revisar los fusibles y de ser el caso reemplazarlos con los valores detallados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y según como se ven en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, siempre y cuando se haya revisado y se haya levantado posibles cortocircuitos.

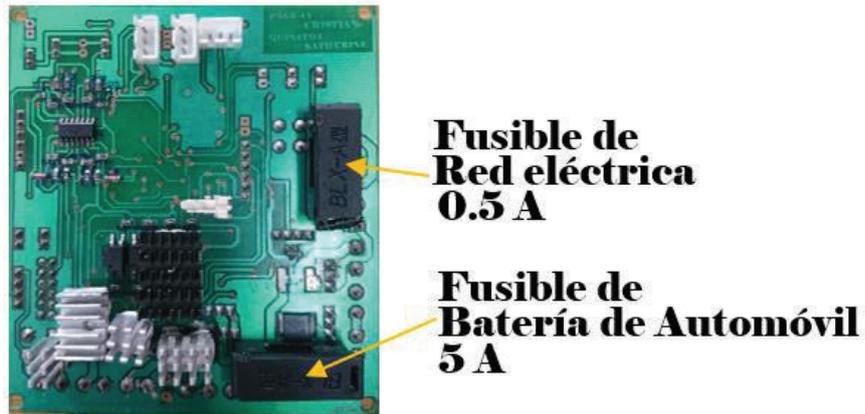
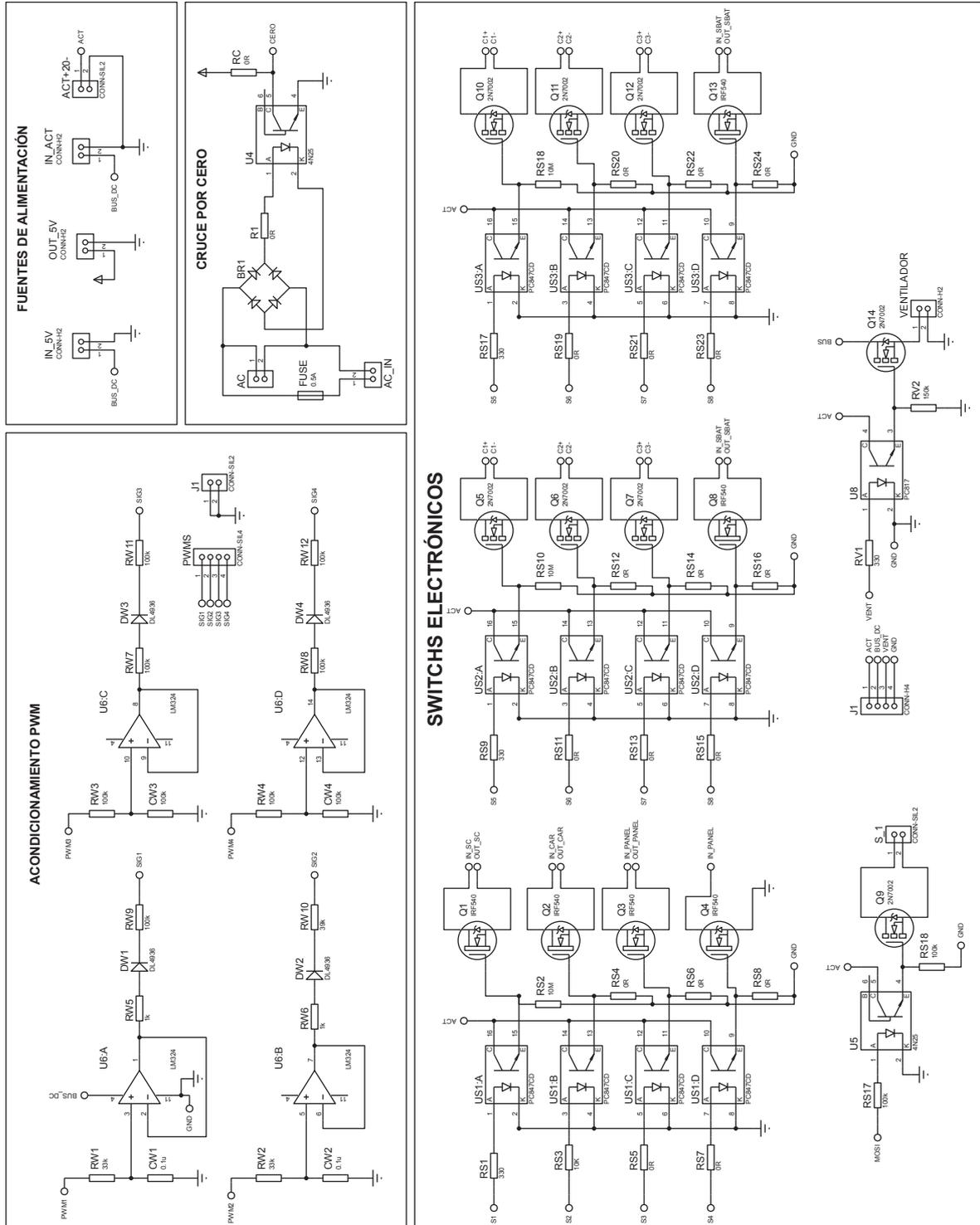
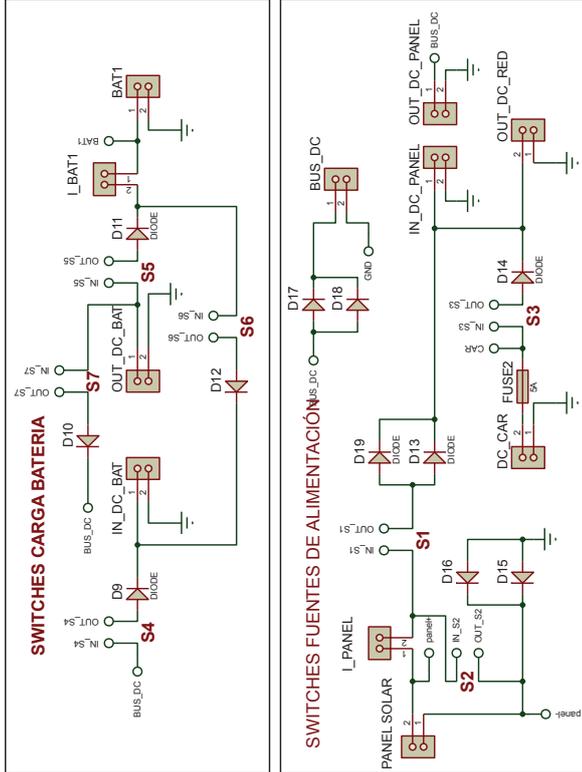
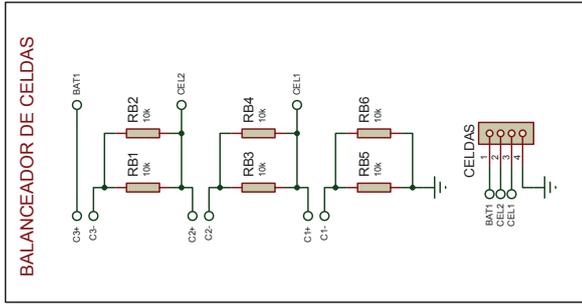
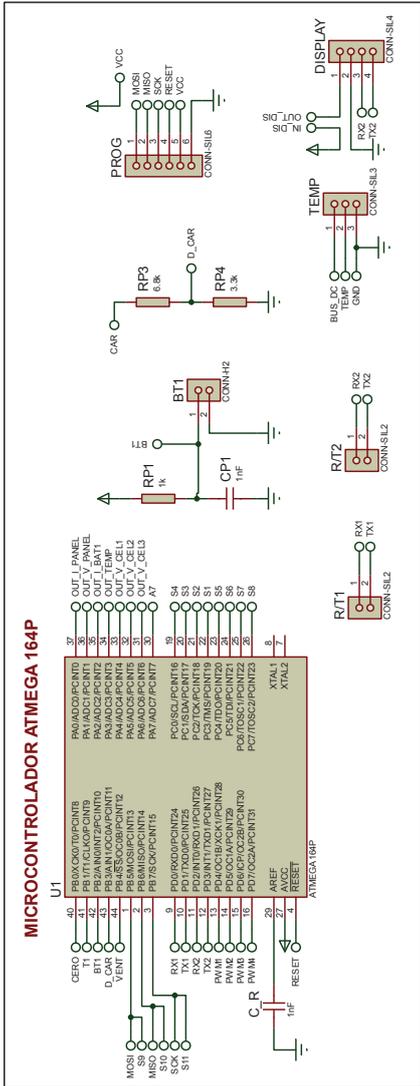
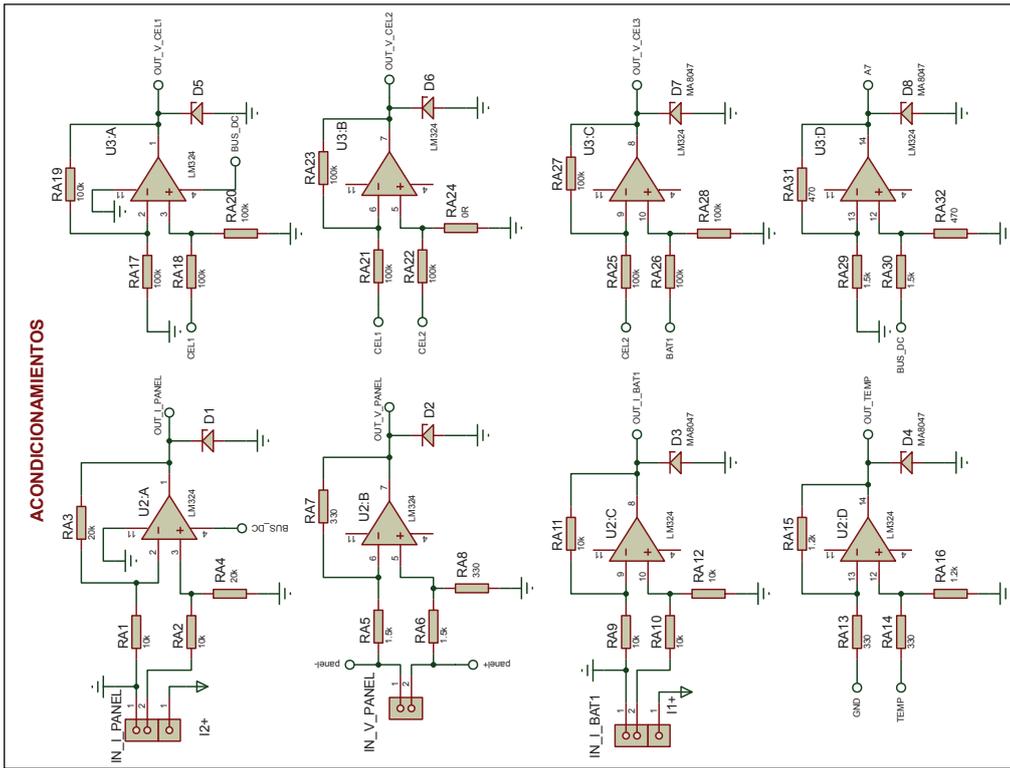


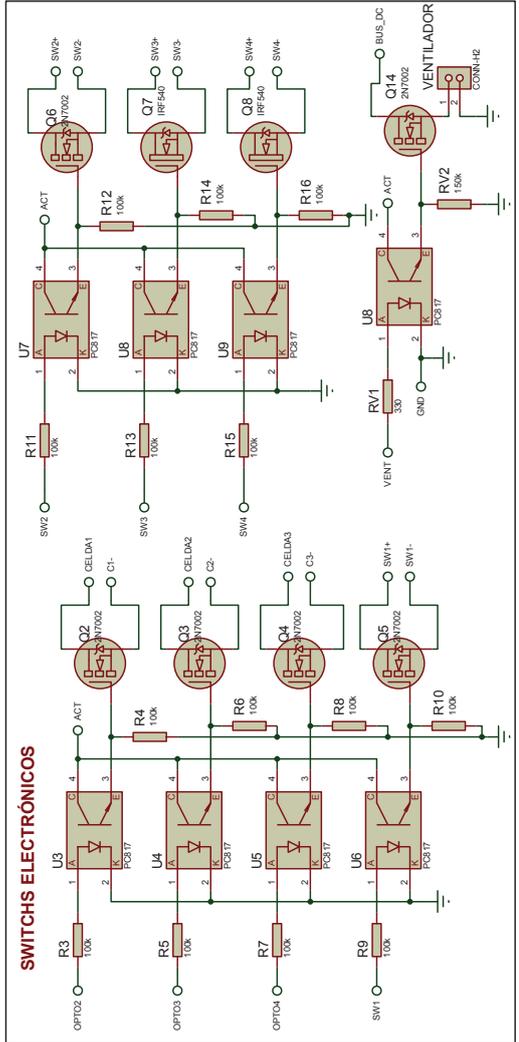
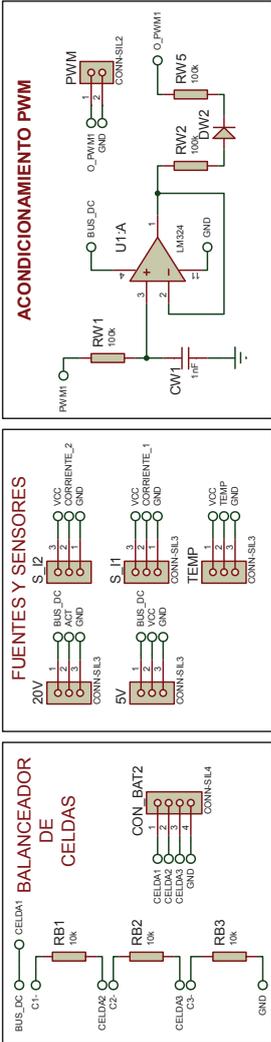
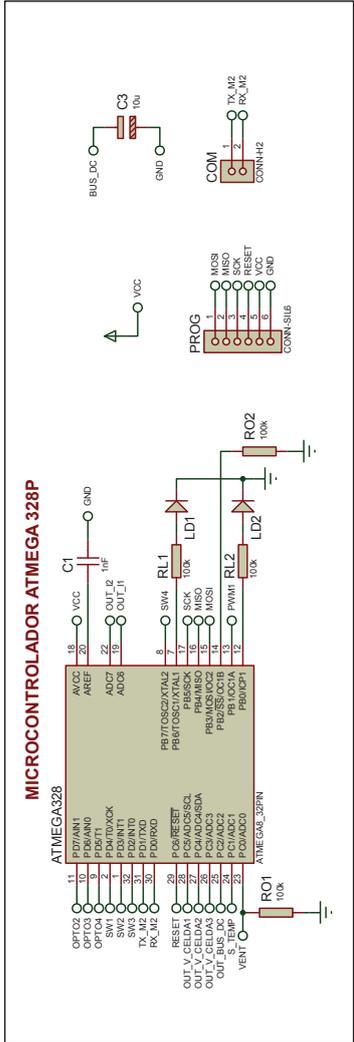
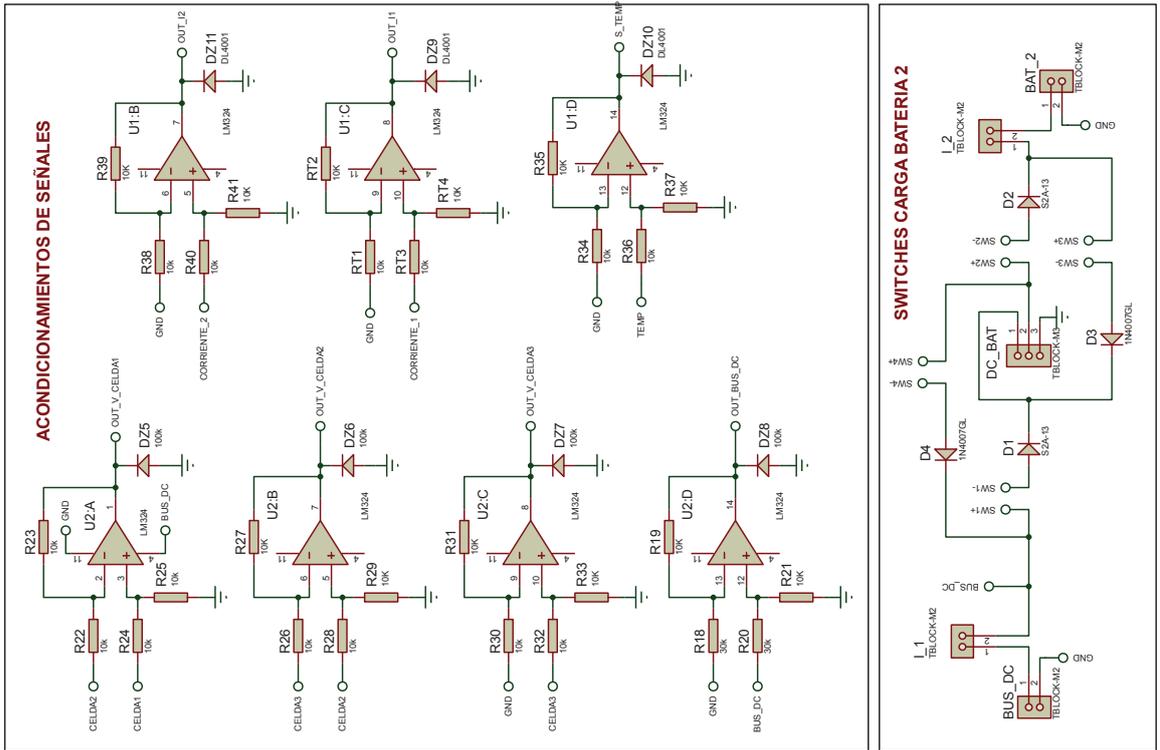
Figura I. 4. Localización y descripción de los fusibles

ANEXO II

Esquema general del circuito







ANEXO III

Hoja de Datos: Mosfet IRF540

Philips Semiconductors

Product specification

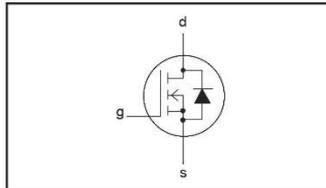
N-channel TrenchMOS™ transistor

IRF540, IRF540S

FEATURES

- 'Trench' technology
- Low on-state resistance
- Fast switching
- Low thermal resistance

SYMBOL



QUICK REFERENCE DATA

$V_{DSS} = 100\text{ V}$
$I_D = 23\text{ A}$
$R_{DS(ON)} \leq 77\text{ m}\Omega$

GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology.

Applications:-

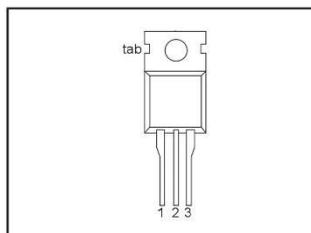
- d.c. to d.c. converters
- switched mode power supplies
- T.V. and computer monitor power supplies

The IRF540 is supplied in the SOT78 (TO220AB) conventional leaded package.
The IRF540S is supplied in the SOT404 (D²PAK) surface mounting package.

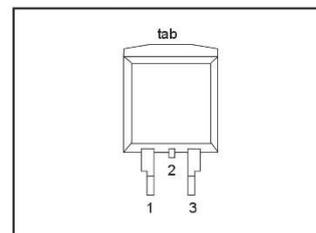
PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain ¹
3	source
tab	drain

SOT78 (TO220AB)



SOT404 (D²PAK)



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DSS}	Drain-source voltage	$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ to $175\text{ }^\circ\text{C}$	-	100	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ to $175\text{ }^\circ\text{C}$; $R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$	-	100	V
V_{GS}	Gate-source voltage		-	± 20	V
I_D	Continuous drain current	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$ $T_{mb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$	-	23	A
I_{DM}	Pulsed drain current	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	16	A
P_D	Total power dissipation	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	92	A
T_j, T_{stg}	Operating junction and storage temperature		-55	175	°C

¹ It is not possible to make connection to pin:2 of the SOT404 package

N-channel TrenchMOS™ transistor

IRF540, IRF540S

AVALANCHE ENERGY LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
E_{AS}	Non-repetitive avalanche energy	Unclamped inductive load, $I_{AS} = 10$ A; $t_p = 350$ μ s; T_j prior to avalanche = 25°C; $V_{DD} \leq 25$ V; $R_{GS} = 50$ Ω ; $V_{GS} = 10$ V; refer to fig:14	-	230	mJ
I_{AS}	Peak non-repetitive avalanche current		-	23	A

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	SOT78 package, in free air SOT404 package, pcb mounted, minimum footprint	-	-	1.5	K/W
$R_{th\ j-a}$	Thermal resistance junction to ambient		-	60	-	K/W
			-	50	-	K/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0$ V; $I_D = 0.25$ mA; $T_j = -55^\circ\text{C}$	100 89	- -	- -	V V
$V_{GS(TO)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}$; $I_D = 1$ mA	2	3	4	V
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10$ V; $I_D = 17$ A $T_j = -55^\circ\text{C}$	-	-	6	V
		$T_j = 175^\circ\text{C}$	-	49	77	m Ω
g_{fs}	Forward transconductance	$V_{DS} = 25$ V; $I_D = 17$ A $T_j = 175^\circ\text{C}$	-	132	193	m Ω
I_{GSS}	Gate source leakage current	$V_{GS} = \pm 20$ V; $V_{DS} = 0$ V	-	10	100	nA
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 100$ V; $V_{GS} = 0$ V	-	0.05	10	μ A
		$V_{DS} = 80$ V; $V_{GS} = 0$ V; $T_j = 175^\circ\text{C}$	-	-	250	μ A
$Q_{gj(tot)}$	Total gate charge	$I_D = 17$ A; $V_{DD} = 80$ V; $V_{GS} = 10$ V	-	-	65	nC
Q_{gs}	Gate-source charge		-	-	10	nC
Q_{gd}	Gate-drain (Miller) charge		-	-	29	nC
$t_{d\ on}$	Turn-on delay time	$V_{DD} = 50$ V; $R_D = 2.2$ Ω ; $V_{GS} = 10$ V; $R_G = 5.6$ Ω Resistive load	-	8	-	ns
t_r	Turn-on rise time		-	39	-	ns
$t_{d\ off}$	Turn-off delay time		-	26	-	ns
t_f	Turn-off fall time		-	24	-	ns
L_d	Internal drain inductance	Measured tab to centre of die Measured from drain lead to centre of die (SOT78 package only) Measured from source lead to source bond pad	-	3.5	-	nH
L_d	Internal drain inductance		-	4.5	-	nH
L_s	Internal source inductance		-	7.5	-	nH
C_{iss}	Input capacitance	$V_{GS} = 0$ V; $V_{DS} = 25$ V; $f = 1$ MHz	-	890	1187	pF
C_{oss}	Output capacitance		-	139	167	pF
C_{riss}	Feedback capacitance		-	83	109	pF

N-channel TrenchMOS™ transistor

IRF540, IRF540S

REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_S	Continuous source current (body diode)		-	-	23	A
I_{SM}	Pulsed source current (body diode)		-	-	92	A
V_{SD}	Diode forward voltage	$I_F = 28\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	0.94	1.5	V
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 17\text{ A}; -di_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s};$	-	61	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_R = 25\text{ V}$	-	200	-	nC

Hoja de Datos: Mosfet PMV40UN2



PMV40UN2

30 V, N-channel Trench MOSFET

24 April 2014

Product data sheet

1. General description

N-channel enhancement mode Field-Effect Transistor (FET) in a small SOT23 (TO-236AB) Surface-Mounted Device (SMD) plastic package using Trench MOSFET technology.

2. Features and benefits

- Trench MOSFET technology
- Low threshold voltage
- Very fast switching
- Enhanced power dissipation capability of 1000 mW

3. Applications

- LED driver
- Power management
- Low-side load switch
- Switching circuits

4. Quick reference data

Table 1. Quick reference data

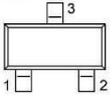
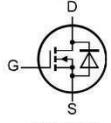
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{DS}	drain-source voltage	$T_j = 25\text{ °C}$	-	-	30	V
V_{GS}	gate-source voltage		-12	-	12	V
I_D	drain current	$V_{GS} = 4.5\text{ V}; T_{amb} = 25\text{ °C}; t \leq 5\text{ s}$	[1]	-	4.4	A
Static characteristics						
$R_{DS(on)}$	drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 4.5\text{ V}; I_D = 3.7\text{ A}; T_j = 25\text{ °C}$	-	36	44	m Ω

[1] Device mounted on an FR4 Printed-Circuit Board (PCB), single-sided copper, tin-plated, mounting pad for drain 6 cm².

nexperia

5. Pinning information

Table 2. Pinning information

Pin	Symbol	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	G	gate	 TO-236AB (SOT23)	 017aaa253
2	S	source		
3	D	drain		

6. Ordering information

Table 3. Ordering information

Type number	Package		
	Name	Description	Version
PMV40UN2	TO-236AB	plastic surface-mounted package; 3 leads	SOT23

7. Marking

Table 4. Marking codes

Type number	Marking code
PMV40UN2	[1] %K8

[1] % = placeholder for manufacturing site code

8. Limiting values

Table 5. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Max	Unit
V_{DS}	drain-source voltage	$T_j = 25\text{ °C}$		-	30	V
V_{GS}	gate-source voltage			-12	12	V
I_D	drain current	$V_{GS} = 4.5\text{ V}; T_{amb} = 25\text{ °C}; t \leq 5\text{ s}$	[1]	-	4.4	A
		$V_{GS} = 4.5\text{ V}; T_{amb} = 25\text{ °C}$	[1]	-	3.7	A
		$V_{GS} = 4.5\text{ V}; T_{amb} = 100\text{ °C}$	[1]	-	2.3	A
I_{DM}	peak drain current	$T_{amb} = 25\text{ °C}; \text{single pulse}; t_p \leq 10\text{ }\mu\text{s}$		-	16	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$	[2]	-	490	mW
			[1]	-	1000	mW
		$T_{sp} = 25\text{ °C}$		-	5000	mW
T_j	junction temperature			-55	150	°C
T_{amb}	ambient temperature			-55	150	°C
T_{stg}	storage temperature			-65	150	°C
Source-drain diode						
I_S	source current	$T_{amb} = 25\text{ °C}$	[1]	-	0.9	A

[1] Device mounted on an FR4 Printed-Circuit Board (PCB), single-sided copper, tin-plated, mounting pad for drain 6 cm^2 .

[2] Device mounted on an FR4 Printed Circuit Board (PCB), single-sided copper, tin-plated and standard footprint.

Hoja de Datos: Mosfet 2N7002



2N7002

N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE FIELD EFFECT TRANSISTOR

VOLTAGE 60 Volts

CURRENT 115 mAmp

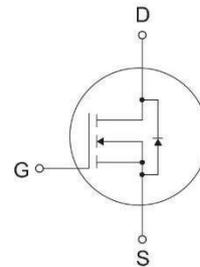
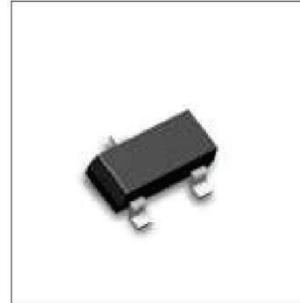
PACKAGE SOT-23

DESCRIPTION

• N-channel enhancement mode field effect transistor, designed for high speed pulsed amplifier and driver applications, which is manufactured by the N-Channel DMOS process.

FEATURES

- High density cell design for low $R_{DS(ON)}$.
- Voltage controlled small signal switching.
- Rugged and reliable.
- High saturation current capability.
- High-speed switching.
- CMOS logic compatible input.
- Not thermal runaway.
- No secondary breakdown.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

$T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	2N7002	Units
Drain-Source Voltage	V_{DSS}	60	V
Drain-Gate Voltage ($R_{GS} \leq 1\text{M}\Omega$)	V_{DRG}	60	V
Gate Source Voltage -Continuous -No Repetitive ($t_p < 50\mu\text{s}$)	V_{GSS}	± 20 ± 20	V
Maximum Drain Current -Continuous -Pulsed	I_D	115 800	mA
Maximum Power Dissipation Derated Above 25°C	P_D	200	mW
Operation and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	625	$^\circ\text{C} / \text{W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

T_A = 25°C Unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
OFF CHARACTERISTICS						
Drain-Source Breakdown Voltage	BV _{DSS}	V _{GS} =0V, I _b =10μA	60	-	-	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I _{DSS}	V _{DS} =60V, V _{GS} =0V, T _J =25°C V _{DS} =60V, V _{GS} =0V, T _J =125°C	-	-	1.0 0.5	μA mA
Gate - Body Leakage, Forward	I _{GSSF}	V _{DS} =0V, V _{GS} =20V	-	-	100	nA
Gate - Body Leakage, Reverse	I _{GSSR}	V _{DS} =0V, V _{GS} = -20V	-	-	-100	nA
ON CHARACTERISTICS (note1)						
Gate Threshold Voltage	V _{GS(th)}	V _{DS} =V _{GS} , I _b =250μA	1	2.1	2.5	V
Static Drain-Source On-Resistance	R _{DS(on)}	V _{GS} =10V, I _b =500mA, T _J =100°C	-	1.2	7.5	Ω
Drain-Source On-Voltage	V _{DS(on)}	V _{GS} =10V, I _b =500mA V _{GS} =5.0V, I _b =50mA	-	0.60 0.09	3.75 1.50	V
On-State Drain Current	I _{D(on)}	V _{GS} =10V, V _{DS} ≥ 2V _{DS(on)}	500	2700	-	mA
Forward Transconductance	G _{FS}	V _{DS} ≥ 2V _{DS(on)} , I _b =200mA	80	320	-	mS
DYNAMIC CHARACTERISTICS						
Input Capacitance	C _{ISS}	V _{DS} =25V, V _{GS} =0V, F=1.0 MHz	-	20	50	pF
Output Capacitance	C _{OSS}	V _{DS} =25V, V _{GS} =0V, F=1.0 MHz	-	11	25	pF
Reverse Transfer Capacitance	C _{RSS}	V _{DS} =25V, V _{GS} =0V, F=1.0 MHz	-	4	5	pF
Turn-On Time	T _{ON}	V _{DD} =30V, R _L =150Ω, I _b =200 mA V _{GS} =10V, R _{GEN} =25Ω	-	-	20	ns
Turn-Off Time	T _{OFF}	V _{DD} =30V, R _L =150Ω, I _b =200 mA V _{GS} =10V, R _{GEN} =25Ω	-	-	20	ns

Note:

1. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300μs, Duty Cycle ≤ 2.0%

Hoja de Datos: Diodo S10A

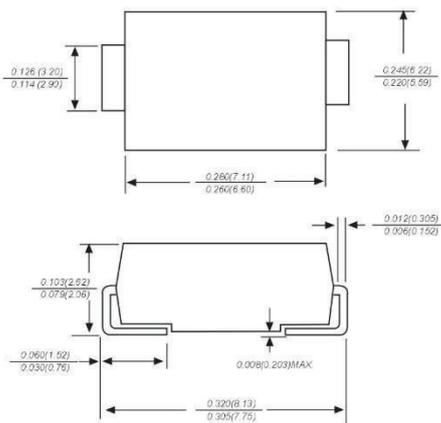


S10A THRU S10M

SURFACE MOUNT GENERAL RECTIFIER

Reverse Voltage - 50 to 1000 Volts Forward Current - 10.0 Amperes

DO-214AB/SMC



FEATURES

- ◆ The plastic package carries Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0
- ◆ For surface mounted applications
- ◆ Low reverse leakage
- ◆ Built-in strain relief, ideal for automated placement
- ◆ High forward surge current capability
- ◆ High temperature soldering guaranteed: 250°C/10 seconds at terminals

MECHANICAL DATA

Case: JEDEC DO-214AB molded plastic body
Terminals: Solder plated, solderable per MIL-STD-750, Method 2026
Polarity: Color band denotes cathode end
Mounting Position: Any
Weight: 0.007 ounce, 0.25grams

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.
 Single phase half-wave 60Hz, resistive or inductive load, for capacitive load current derate by 20%.

MDD Catalog Number	SYMBOLS	S10A	S10B	S10D	S10G	S10J	S10K	S10M	UNITS
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	VOLTS
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	VOLTS
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	VOLTS
Maximum average forward rectified current at $T_L=75^\circ\text{C}$	$I_{(AV)}$	10.0							Amps
Peak forward surge current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I_{FSM}	200.0							Amps
Maximum instantaneous forward voltage at 10.0A	V_F	1.2							Volts
Maximum DC reverse current $T_A=25^\circ\text{C}$ at rated DC blocking voltage $T_A=100^\circ\text{C}$	I_R	10.0 100.0							μA
Typical junction capacitance (NOTE 1)	C_J	60.0							pF
Typical thermal resistance (NOTE 2)	$R_{\theta JA}$	10.0							$^\circ\text{C}/\text{W}$
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	-55 to +150							$^\circ\text{C}$

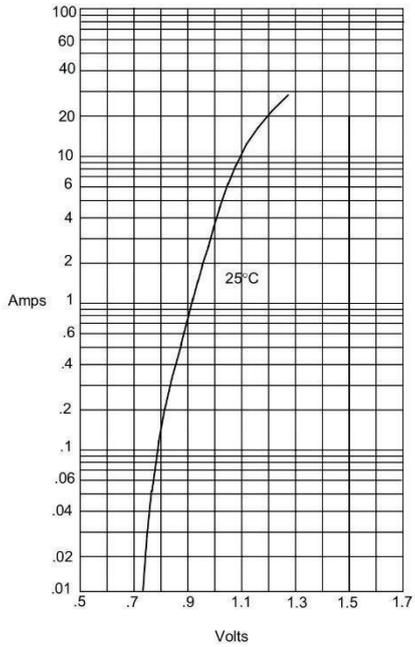
*Pulse test: Pulse width 200 μsec , Duty cycle 2%

Note: 1. High Temperature Solder Exemptions Applied, see EU Directive Annex 7.

版

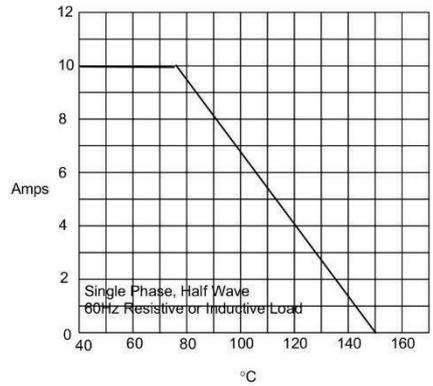
RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES S10A THRU S10M

Figure 1
Typical Forward Characteristics



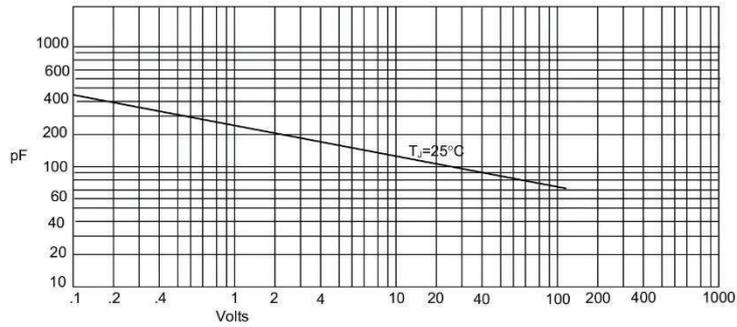
Instantaneous Forward Current - Amperes versus
Instantaneous Forward Voltage - Volts

Figure 2
Forward Derating Curve



Single Phase, Half Wave
60Hz Resistive or Inductive Load
Average Forward Rectified Current - Amperes versus
Case Temperature - °C

Figure 3
Junction Capacitance

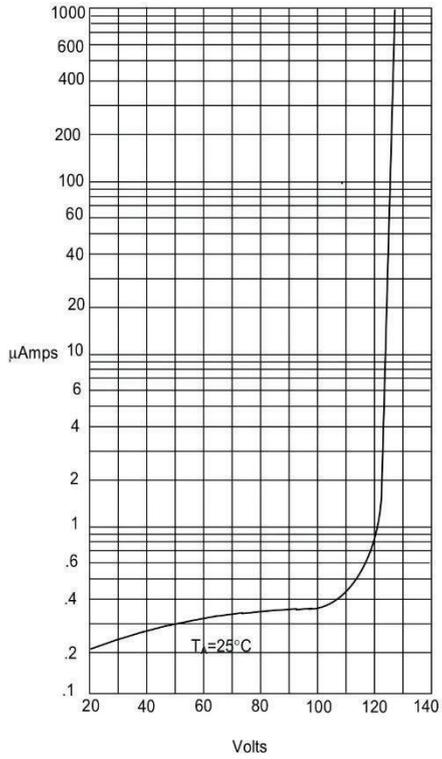


Junction Capacitance - pF versus
Reverse Voltage - Volts

版

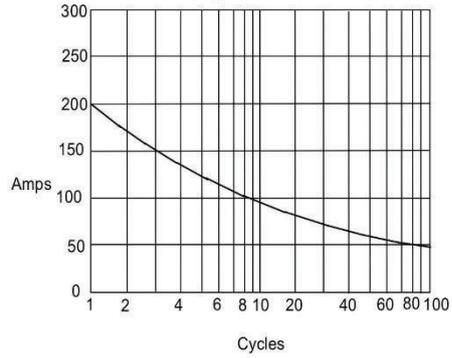
RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES S10A THRU S10M

Figure 4
Typical Reverse Characteristics



Instantaneous Reverse Leakage Current - MicroAmperes *versus*
Percent Of Rated Peak Reverse Voltage - Volts

Figure 5
Peak Forward Surge Current



Peak Forward Surge Current - Amperes *versus*
Number Of Cycles At 60Hz - Cycles

版

Hoja de Datos: Diodo SK52-S510



DATA SHEET

SK52~S510

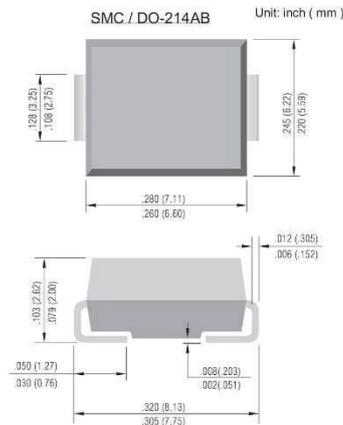
SURFACE MOUNT SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER
VOLTAGE- 20 to 100 Volts CURRENT- 5.0 Amperes

FEATURES

- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-O
- For surface mounted applications
- Low profile package
- Built-in strain relief
- Metal to silicon rectifier, majority carrier conduction
- Low power loss, high efficiency
- High surge capacity
- For use in low voltage high frequency inverters, free wheeling, and polarity protection applications
- High temperature soldering guaranteed: 260°C /10 seconds at terminals

MECHANICAL DATA

Case: JEDEC DO-214AB molded plastic
 Terminals: Solder plated, solderable per MIL-STD-750, Method 2026
 Polarity: Color band denotes positive end (cathode)
 Standard packaging: 16mm tape (EIA-481)
 Weight: 0.007 ounce, 0.21 gram



MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.
 Resistive or inductive load.

	SYMBOLS	SK52	SK53	SK54	SK55	SK56	SK58	SK59	S510	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	80.0	90.0	100.0	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	14.0	21.0	28.0	35.0	42.0	56.0	63.0	70.0	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	80.0	90.0	100.0	V
Maximum Average Forward Rectified Current at T_L (See figure 1)	$I(AV)$	5.0								A
Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I_{FSM}	100.0								A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 5.0A (Note 1)	V_F	0.50		0.75		0.85			V	
Maximum DC Reverse Current (Note 1) $T_a=25^\circ\text{C}$ at Rated DC Blocking Voltage $T_a=100^\circ\text{C}$	I_R					0.5		20.0		mA
Maximum Thermal Resistance(Note 2)	$R_{\theta JL}$ $R_{\theta JA}$					17.0		55.0		$^\circ\text{C/W}$
Operating and Storage Temperature Range T_J	T_J					-50 to +125				$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}					-55 to +150				$^\circ\text{C}$

NOTES:
 A. Pulse Test with PW = 300µsec, 2% Duty Cycle.
 B. Mounted on P.C. Board with 14mm² (.013mm thick) copper pad areas.



RATING AND CHARACTERISTIC CURVES

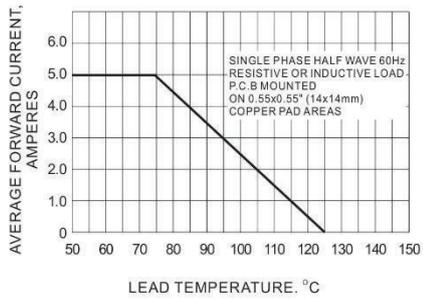


Fig.1- FORWARD CURRENT DERATING CURVE

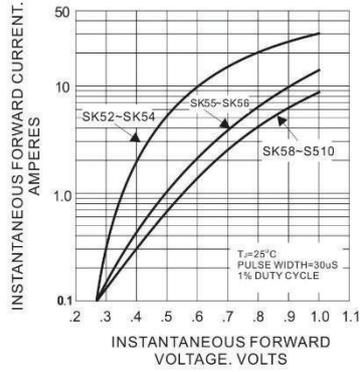


Fig.2- TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

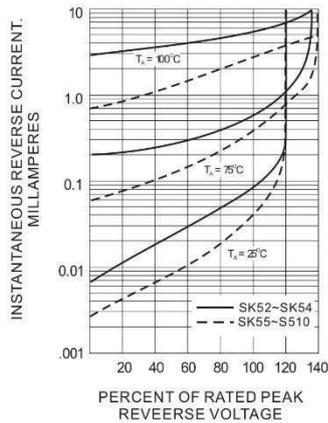


Fig.3- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

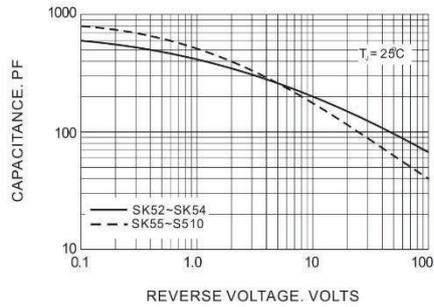


Fig.4- TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE

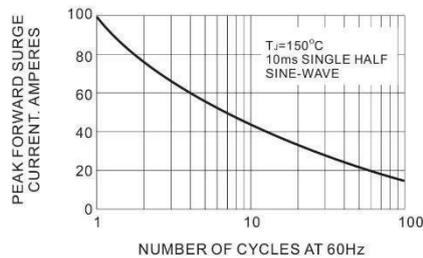


Fig.5- MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

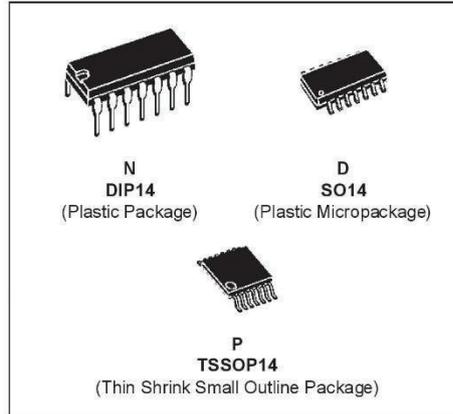
Hoja de Datos: Operacional LM124-LM224-LM324



**LM124
LM224 - LM324**

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375 μ A
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : \pm 1.5V TO \pm 15V



DESCRIPTION

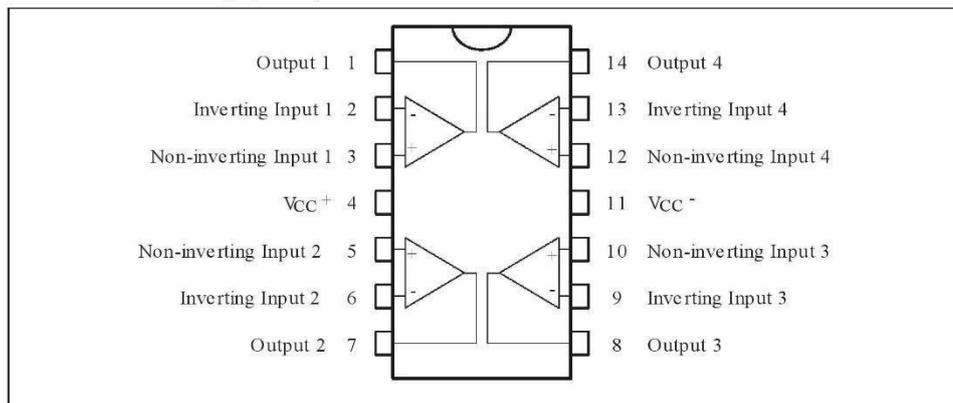
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

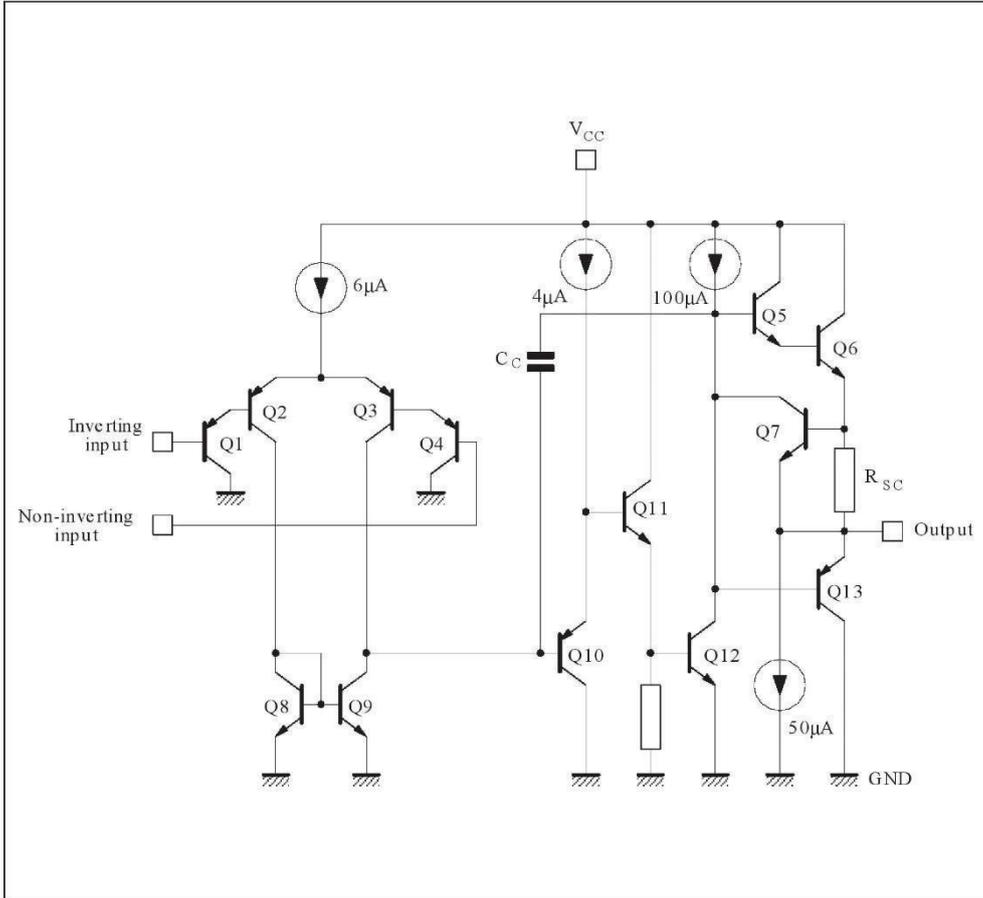
Example : LM224N

PIN CONNECTIONS (top view)



LM124 - LM224 - LM324

SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
V_{cc}	Supply Voltage	±16 or 32			V
V_i	Input Voltage	-0.3 to +32			V
V_{id}	Differential Input Voltage - (*)	+32	+32	+32	V
P_{tot}	Power Dissipation	500	500	500	mW
		-	400	400	mW
-	Output Short-circuit Duration - (note 1)	Infinite			
I_{in}	Input Current - (note 6)	50	50	50	mA
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C

Hoja de Datos: Optoacoplador PC817

SHARP

PC817 Series

PC817 Series

High Density Mounting Type Photocoupler

- * Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/PC817P)
- ** TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

■ Features

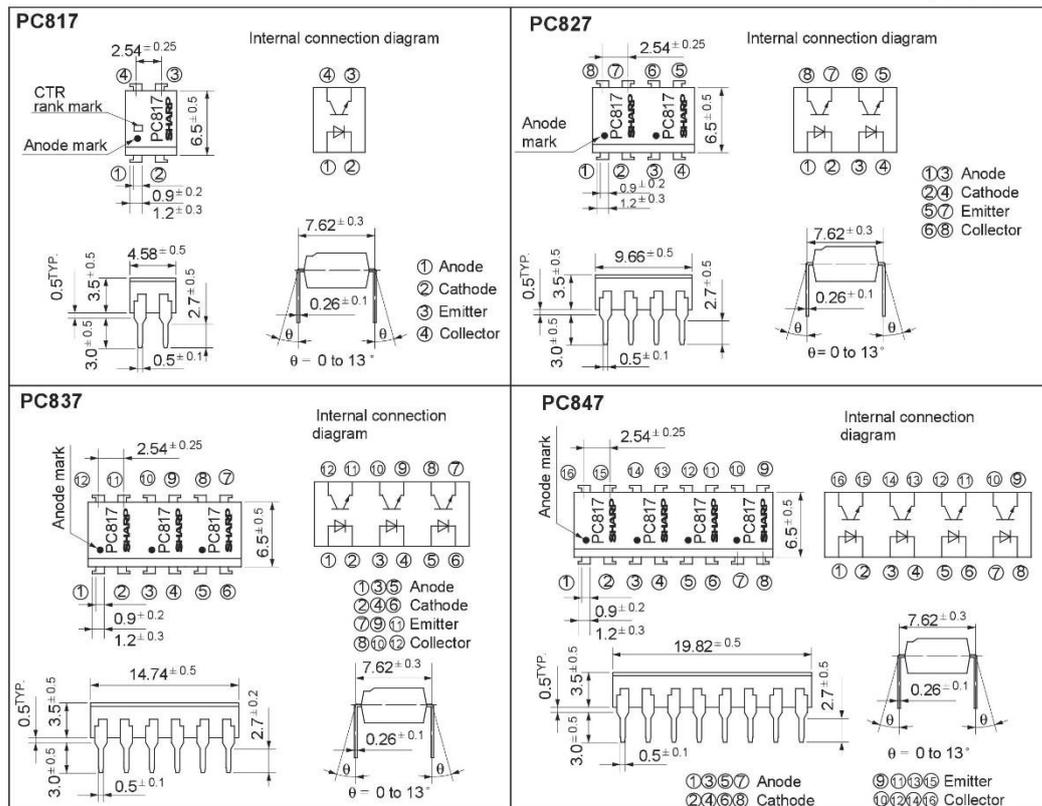
1. Current transfer ratio
(CTR: MIN. 50% at $I_F = 5\text{mA}$, $V_{CE} = 5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output (V_{iso} : 5 000V_{rms})
3. Compact dual-in-line package
PC817 : 1-channel type
PC827 : 2-channel type
PC837 : 3-channel type
PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device.

■ Absolute Maximum Ratings

(Ta= 25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_F	50	mA
	*1Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	35	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
	Total power dissipation	P_{tot}	200	mW
*2Isolation voltage		V_{iso}	5 000	V_{rms}
Operating temperature		T_{opr}	- 30 to + 100	°C
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 125	°C
*3Soldering temperature		T_{sol}	260	°C

*1 Pulse width $\leq 100\mu s$, Duty ratio : 0.001

*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

*3 For 10 seconds

■ Electro-optical Characteristics

(Ta= 25°C)

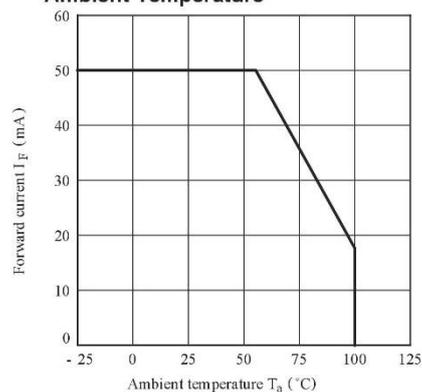
Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	V_F	$I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V	
	Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	3.0	V	
	Reverse current	I_R	$V_R = 4V$	-	-	10	μA	
	Terminal capacitance	C_t	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF	
Output	Collector dark current	I_{CEO}	$V_{CE} = 20V$	-	-	10^{-7}	A	
Transfer characteristics	*4Current transfer ratio	CTR	$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%	
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V	
	Isolation resistance	R_{ISO}	DC500V, 40 to 60%RH	5×10^{10}	10^{11}	-	Ω	
	Floating capacitance	C_f	$V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF	
	Cut-off frequency	Response time	Rise time	$V_{CE} = 2V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega$	-	4	18	μs
			Fall time		-	3	18	μs

*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

* : 1 or 2 or 3 or 4

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature



ORDEN DE EMPASTADO