

**Universidad Tecnológica Nacional**

**Proyecto Final**

---

**Unidad de control inteligente y eficiente de  
luminaria LED de alta potencia para espacios  
abiertos alimentados por energía solar.**

---

*Autores:*

- Cian Gabriel
- Vittori Luciano

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos  
para acceder al título de Ingeniero en Electrónica en la Universidad  
Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná.*

**Abril de 2018**

## **Declaración de autoría:**

Nosotros declaramos que el Proyecto Final “**Unidad de control inteligente y eficiente de luminaria LED de alta potencia para espacios abiertos alimentados por energía solar**” y el trabajo realizado son propios. Declaramos:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero en Electrónica en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

- 
- 

Fecha:

## Agradecimientos:

Gracias nuestros padres por ser quienes nos dieron la vida, nos educaron y enseñaron que todo esfuerzo tiene su recompensa. Por apoyarnos tanto a nivel económico como en las decisiones a lo largo de este tiempo, dentro y fuera de la universidad.

Gracias a la institución por la formación, al cuerpo docente por su paciencia y dedicación y a todos aquellos que nos han forjado de conocimiento y valores.

Gracias a los amigos y familiares que nos acompañaron a lo largo de estos años, brindándonos siempre su apoyo en los momentos difíciles y festejando con nosotros en momentos de alegría.

Cian Gabriel  
Vittori Luciano

**Abstract:**

An intelligent controller for street and area lighting was realized, which through software from PC can be configured the type of solar panel, battery and LED to be used, adjusting the parameters that the user needs.

The device has two parts, one is the power stage which two circuits, a step-down converter for battery charger and step-up converter for LED driver. All this is commanded by the second stage that consists of a microcontroller which evaluates the environmental conditions and determines its functionality based on the data collected by the sensors and their configurations.

A robust device was obtained which works at a switching of 125 KHz, with a panel input power of up to 120W and approximately similar LED output, having a performance greater than 93%.

**Keywords:**

Battery Charger - Boost Converter- Buck Converter- Luminaire Control - LED Driver - Energy Efficiency - Solar Energy.

**Resumen:**

Se realizó un controlador inteligente para iluminación de espacios abiertos el cual mediante un software desde la PC se puede configurar el tipo de panel solar, la batería y el LED a utilizar, ajustando los parámetros que precisa el usuario.

El dispositivo cuenta con dos partes, una es la de potencia en la cual se utilizaron dos circuitos, un convertidor reductor para la parte del cargador de baterías y un circuito elevador de tensión para el driver de LED. Todo esto es comandado por la segunda etapa que consta de un microcontrolador el cual evalúa las condiciones del entorno y determina su funcionalidad en base a los datos recaudados por los sensores y sus configuraciones.

Se obtuvo un dispositivo robusto el cual trabaja a una conmutación de 125 KHz, con una potencia de entrada de panel de hasta 100W y una salida de LED aproximadamente similar, teniendo un rendimiento mayor al 93%.

**Palabras Clave:**

Cargador de Baterías – Convertidor Elevador– Convertidor Reductor – Control de Iluminaria  
- Driver de LED – Eficiencia Energética – Energía Solar.

## Reconocimientos:

Gracias a la empresa JECH por abrirnos las puertas, capacitarnos, prestarnos sus herramientas e insumos, a lo largo de la carrera y aún más a la hora de la realización de este proyecto final.

Gracias a la empresa HRSI por esponsorizar el proyecto final, desde la fabricación de PCB, los componentes y los dispositivos como son el panel, la batería y los LED.

Gracias a la empresa ACUMULADORES PARANÁ por brindarnos información y asesoramiento sobre baterías.

Gracias al grupo de compañeros y amigos, Catinot Francisco, Lombardo Adriel, Ludi Marino y Tentor Juan Francisco; con los cuales compartimos más de una vivencia dentro y fuera de la facultad; por sus consejos, críticas, ideas y tiempo para el desarrollo de este proyecto.

Cian Gabriel  
Vittori Luciano

## INDICE

<b>1 - Capítulo 1: Introducción</b> .....	1
1.1 - Estudio de Mercado.....	4
1.1.1 - Target.....	4
1.1.2 - Pruebas de concepto.....	4
1.1.3 - Pruebas de producto. Competencia. ¿Qué hay en el mercado? ¿En qué se diferencia de lo que voy a hacer?.....	5
1.2 - Análisis de recursos .....	7
1.3 - Análisis de costos. ....	7
1.4 - Ciclo de vida del producto.....	7
<b>2 - Capítulo 2: Desarrollo</b> .....	8
2.1 - Análisis para el desarrollo. ....	8
2.1.1 - Diagrama de Bloques.....	8
2.1.2 - Lógica de Funcionamiento.....	8
2.1.3 - Dispositivos de la Luminaria. ....	10
2.1.4 - Bloque 1 – Cargador de Baterías (Teórico).....	21
2.1.5 - Bloque 2 – Driver de LED (Teórico) .....	30
2.1.6 -.....	37
2.1.7 - Pérdidas en los convertidores.....	37
2.1.8 - Comportamiento de los distintos tipos de capacitores para distintas frecuencias de trabajo.....	40
2.1.9 - Distintos tipos de inductores y sus características para los convertidores de continua.....	44

2.1.10 - Resistencia .....	49
2.2 - Cálculos y consideraciones prácticas. ....	57
2.2.1 - Calculo para el cargador de baterías (Regulador reductor).....	57
2.2.2 - Calculo para el driver de LED. ....	58
2.2.3 - Bloque 1 – Cargador de Baterías (Práctico).....	61
2.2.4 - Bloque 2 – Driver de LED (Práctico) .....	66
2.2.5 - Bloque 3 – Circuito Lógico.....	69
2.2.6 - Bloque 4 – Circuito USB .....	71
2.3 - Desarrollo del software.....	73
2.3.1 - Firmware de Placa.....	73
2.3.2 - Aplicación gráfica. ....	81
2.3.3 - Interfaz Hombre – Máquina.....	85
2.4 - Diseño Completo.....	88
2.4.1 - Fotos del hardware .....	89
<b>3 - Capítulo 3: Resultados.....</b>	<b>95</b>
3.1 - Medición de Cargador de Baterías .....	95
3.2 - Medición del Driver de LED.....	96
<b>4 - Capítulo 4: Análisis de costo .....</b>	<b>98</b>
4.1 - Costos de materiales .....	98
4.2 - Costo de desarrollo .....	100
4.3 - Idea de negocio.....	101
<b>5 - Capítulo 5: Discusión y Conclusión.....</b>	<b>103</b>
5.1 - ¿Qué se propuso y qué se logró? .....	103



<b>6 - Capítulo 6: Literatura Citada.....</b>	<b>106</b>
6.1 - Bibliografía.....	106

## Lista de Figuras

Figura 1 – Controladora 3 en 1. ....	3
Figura 2 - Diagrama de Bloques .....	8
Figura 3 - Características del Panel Solar (Solares).....	10
Figura 4 - Variación de Tensión y Corriente con respecto a la Iluminación. (Converter, 2008).....	11
Figura 5 - Variación de Tensión y Corriente con respecto a la Temperatura (Converter, 2008).....	11
Figura 6 - Tensión en función de la Corriente y la Potencia (Converter, 2008).....	12
Figura 7 - Características de la Batería (6FM75-X).....	13
Figura 8 - Curva de Carga (6FM75-X) .....	14
Figura 9 - Array de LED (CXB3050) .....	15
Figura 10 - Características del LED (CXB3050).....	15
Figura 11 - Descripción de LEDs.....	15
Figura 12 - Tensión - Corriente .....	16
Figura 13 - Eficiencia - Corriente. Mayor Eficiencia con menor Temperatura .....	17
Figura 14 - Potencia – Tensión.....	17
Figura 15 - Sensor PIR HC-SR501 (HC-SR501, 2017).....	18
Figura 16 - Partes del Sensor (HC-SR501, 2017) .....	19
Figura 17 - Cono de Detección (HC-SR501, 2017).....	20
Figura 18 - Convertidor Reductor (Rashid) .....	21
Figura 19 - Modos de trabajo del convertidor reductor (Rashid).....	22
Figura 20 - Formas de onda del Convertidor Reductor (Rashid).....	23
Figura 21 - Convertidor Elevador (Rashid) .....	30
Figura 22 - Modos de Trabajo del Convertidor Elevador (Rashid) .....	31

Figura 23 - Formas de onda del Convertidor Elevador (Rashid) .....	32
Figura 24 - Pérdidas en un convertidor DC/DC (Electronics) .....	38
Figura 25 - Synchronous Buck Converter con MOSFET (ADP3120A, 2012).....	39
Figura 26 - Capacitores Electrolíticos de Aluminio (DigiKey).....	41
Figura 27 - Capacitores Electrolíticos OS-CON (DigiKey) .....	41
Figura 28 - Capacitores Cerámicos (DigiKey).....	42
Figura 29 - Capacitores de Tantalio (DigiKey) .....	42
Figura 30 - Capacitores SMD (Cerámico, Tantalio, Electrolítico) (DigiKey) .....	43
Figura 31 - Capacitores y Frecuencias (Device) .....	43
Figura 32 - Con núcleo de aire (DigiKey) .....	44
Figura 33 - Con núcleo de ferrita (DigiKey).....	44
Figura 34 - Inductores tipo Toroides (DigiKey).....	45
Figura 35 - Inductores Encapsulados (DigiKey).....	45
Figura 36 - Inductores Chips (DigiKey) .....	46
Figura 37 - Inductores Ajustables (DigiKey) .....	46
Figura 38 - DCR en función de la Temperatura. (Coilcraft, 2005) .....	49
Figura 39 - Inductancia vs Corriente de Polarización. (Coilcraft, 2005) .....	52
Figura 40 - Forma de onda de inductores con y sin saturación de núcleo (Coilcraft, 2005) ...	53
Figura 41 - Características de Inductores (Coilcraft, 2005).....	54
Figura 42 - Rango de Temperatura (Coilcraft, 2005).....	55
Figura 43 - Temperatura en función de la Corriente (Coilcraft, 2005) .....	55
Figura 44 - Características de Inductores 2 (Coilcraft, 2005).....	55
Figura 45 - Inductor de E-Core con alambre plano (Coilcraft, 2005).....	56

Figura 46 - – Inductor con núcleo de ferrita (Coilcraft, 2005).....	56
Figura 47 - Circuito de entrada .....	61
Figura 48 - Circuito de excitación.....	63
Figura 49 - Circuito LC.....	64
Figura 50 - Circuito de Salida .....	65
Figura 51 - Circuito de Excitación (Driver de LED) .....	66
Figura 52 - Circuito LC Elevador .....	67
Figura 53 - Circuito de Salida .....	68
Figura 54 - Circuito Lógico.....	69
Figura 55 - Conector ICSP.....	69
Figura 56 - Fuente de 5 [V].....	70
Figura 57 - Circuito de conmutación de alimentación .....	70
Figura 58 - Circuito de Comunicación.....	71
Figura 59 - Curva de Panel Solar (Eliseo Sebastian) .....	77
Figura 60 - Curva de LED (CXB3050).....	79
Figura 61 - Pantalla Principal de la interfaz gráfica.....	81
Figura 62 - Proyecto y Archivos .....	82
Figura 63 - Ventana Principal.....	85
Figura 64 - Conexión a puerto COM .....	86
Figura 65 - Opciones avanzadas .....	87
Figura 66 - Placa Principal Inferior.....	89
Figura 67 - Placa Principal Superior .....	90
Figura 68 - Placa Principal Lateral Superior 1 .....	91

Figura 69 - Placa Principal Lateral Superior 2.....	92
Figura 70 - Placa Principal Lateral Inferior .....	93
Figura 71 - Placa Comunicación Superior .....	93
Figura 72 - Placa Comunicación Lateral Superior.....	94
Figura 73 - Placa Comunicación Inferior.....	94
Figura 74 - Curva obtenida del Panel Solar .....	96

## **Lista de Tablas**

Tabla 1 - Muestras del Cargador de Batería .....	95
Tabla 2 – Muestras del Driver de LED .....	97
Tabla 3 – Costo de componentes de PCB de comunicación .....	98
Tabla 4 - Costo de componentes de PCB de control.....	100

## Lista de Ecuaciones

Ecuación 1- Voltaje del Inductor .....	24
Ecuación 2 –Variación de Tensión del Inductor.....	25
Ecuación 3 – Variación de la Corriente .....	25
Ecuación 4 –Tiempo 1.....	25
Ecuación 5 – Tiempo 2.....	25
Ecuación 6 – Tiempo 2.....	25
Ecuación 7 – Variación de la Corriente .....	26
Ecuación 8 – Período para t1 .....	26
Ecuación 9 – Período para t2 .....	26
Ecuación 10 – Voltaje de Salida.....	26
Ecuación 11- Igualación de Potencias.....	26
Ecuación 12 – Período de Conmutación .....	27
Ecuación 13 – Frecuencia de Conmutación .....	27
Ecuación 14 – Corriente Ondulatoria.....	27
Ecuación 15 – Inductancia del Filtro .....	27
Ecuación 16 - Ley de corrientes de Kirchhoff .....	28
Ecuación 17- Corriente Ondulatoria .....	28
Ecuación 18 – Corriente Promedio .....	28
Ecuación 19 – Tensión del Capacitor .....	28
Ecuación 20 – Tensión ondulatoria del Capacitor.....	28
Ecuación 21- Capacitor del Filtro .....	29
Ecuación 22- Tensión del Inductor.....	33

Ecuación 23- Tiempo t1 .....	33
Ecuación 24 – Tiempo t2.....	33
Ecuación 25- Tiempo t2 .....	33
Ecuación 26 – Variación de Corriente.....	33
Ecuación 27 – Período para t1 .....	34
Ecuación 28 – Período para t2 .....	34
Ecuación 29 – Variación de Corriente.....	34
Ecuación 30 – Despeje algebraico .....	34
Ecuación 31 – Variación de Tensión .....	34
Ecuación 32 – Voltaje Promedio de Salida .....	34
Ecuación 33 – Voltaje Promedio de Salida .....	35
Ecuación 34 –Igualación de Potencias.....	35
Ecuación 35 – Período de Conmutación .....	35
Ecuación 36 - Frecuencia de Conmutación.....	35
Ecuación 37 – Corriente Ondulatoria.....	35
Ecuación 38 – Inductancia del Filtro .....	36
Ecuación 39 – Voltaje ondulatorio del Capacitor.....	36
Ecuación 40 – Sustitución Algebraica.....	36
Ecuación 41- Tiempo t1 .....	36
Ecuación 42 - Voltaje ondulatorio del Capacitor.....	36
Ecuación 43 – Capacitor del Filtro.....	37
Ecuación 44 – Divisor TP4 .....	62
Ecuación 45- Amplificador TP3.....	62



Ecuación 46 – Divisor TP7 .....	65
Ecuación 47 – Divisor TP2 .....	67
Ecuación 48 – Amplificador R7.....	68

## Dedicado a:

Mi mamá Mirta por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por tu esfuerzo, confianza y amor que hicieron que hoy cumpla mis objetivos.

Mi papá Ricardo por ser mi ejemplo de trabajo, dedicación y sacrificio. Por sus consejos y el apoyo que me brinda en todo momento.

Mi hermana Yanina y su familia por siempre alentarme a seguir avanzando y a nunca bajar los brazos.

Mis Amigos y familiares que siempre me dieron una mano y confiaron en mí.

Cian Gabriel

## Dedicado a:

Mi Padre Omar por su apoyo económico y profesional.

Mi Madre Norma por su amor y compañía incondicional.

Mi Abuela por su motivación al progreso y alimentación de todos los días.

Resto de la familia por sus consejos y cariño.

Mis amigos y compañeros de trabajo que siempre estuvieron desde el primer día y me bancaron en todas.

Todas aquellas personas que confiaron en mí.

Vittori Luciano.

## **1 - Capítulo 1: Introducción**

La luminotecnica aplicada al alumbrado público ha ido evolucionando en forma permanente buscando alternativas cada vez más eficientes, tanto en el uso de nuevas fuentes de energía, en luminarias de menor consumo y en sus equipos auxiliares más robustos e inteligentes.

Hoy en día una de las alternativas más eficientes son las luminarias de LEDs alimentadas por energía solar la cual es limpia, gratis e inagotable. Estas están compuestas por:

- Un panel solar.
- Una o varias baterías recargables.
- Un regulador de carga de baterías.
- Un controlador de encendido y apagado automático.
- Un controlador de LEDs.
- Una lámpara de LEDs.
- Un plafón que contiene el conjunto de driver, LEDs y disipador correspondiente.
- Un mástil o soporte que contendrá los dispositivos anteriormente mencionados.

Siendo que los reguladores de carga, los controladores de LEDs y el control automático de encendido/apagado son el núcleo de todos los sistemas fotovoltaicos de iluminación, ya que deben controlar con precisión el flujo de energía, protegiendo las baterías y los LEDs, terminan siendo responsables de la eficiencia del sistema.

De esta manera surgió la idea de diseñar y desarrollar una placa inteligente que contemple estos tres módulos dentro de un encapsulado el cual debería soportar choques extremos de

temperatura, polvo y agua. Así los clientes obtienen tres soluciones incluidas en un solo producto, con muchas ventajas:

Los tres módulos estarán combinados armónicamente en una placa y protegidos en una carcasa totalmente encapsulada lo que aumentará la fiabilidad del sistema, la vida útil y reducirá los costes de inversión.

Un temporizador de encendido / apagado combinado a funciones de atenuación ajustables por programación proporcionará flexibilidad, mayor tiempo de operación y ahorro de energía.

El sistema ofrecerá funciones de protección automática como son la detección de baja tensión en baterías donde la luz se atenuará automáticamente sin generar un apagado abrupto hasta la próxima carga. También contará con el sensado de tensión, corriente y temperatura para controlar y actuar protegiendo los diferentes dispositivos.

En primera instancia se estudiarán y desarrollarán cada módulo por parte, cubriendo así todas las necesidades básicas de los mismos, como son el control de potencia, protecciones y el cálculo de las entradas/salidas con las que se contará.

Como segunda medida se buscará la forma de combinar estos módulos de forma armónica mediante un microcontrolador, el cual será el cerebro de todo el sistema.

Por último se harán las pruebas necesarias para pulir la parte de software y hardware.

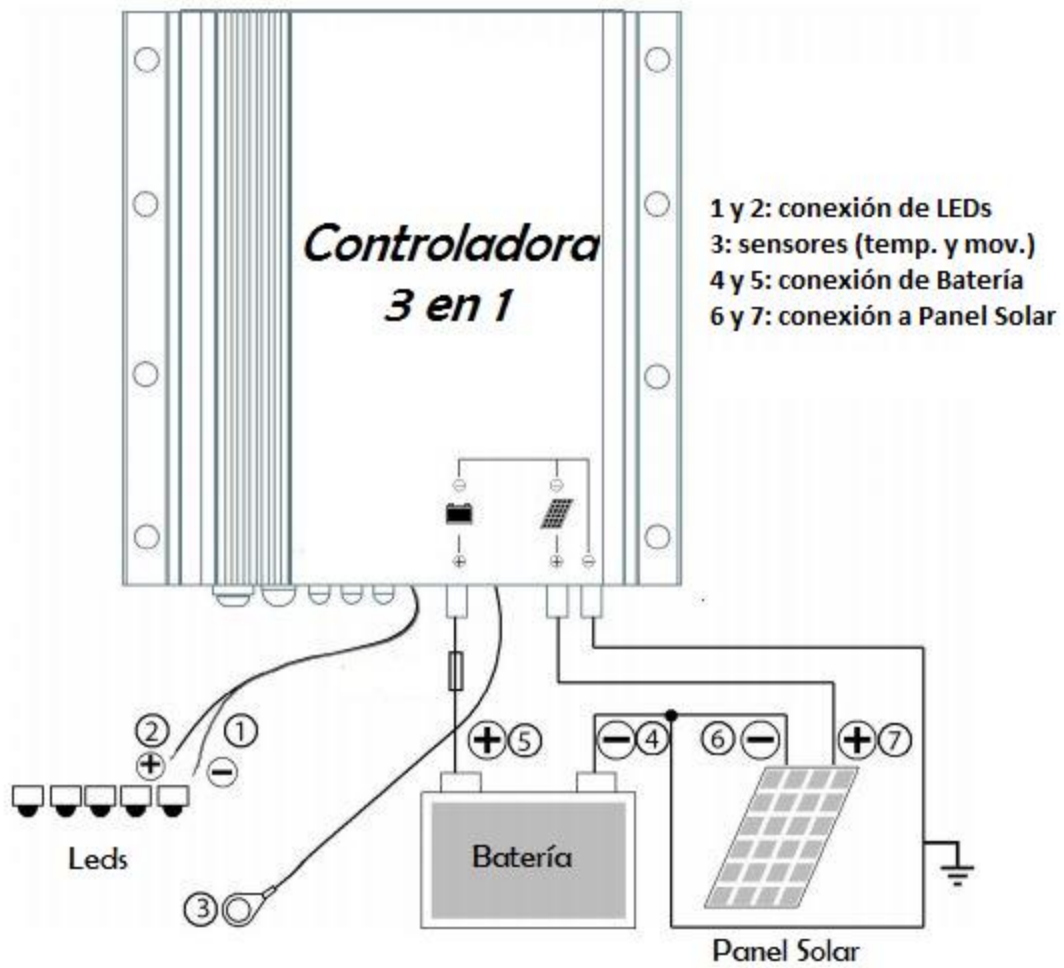


Figura 1–Controladora 3 en 1.

## 1.1 - Estudio de Mercado.

### 1.1.1 - Target

A nivel local no existe la fabricación de un producto con estas características. Si bien a nivel nacional ya existen empresas que comercializan equipamientos completos de iluminación, no todas cuentan con un controlador como el que se quiere desarrollar; convirtiendo a estas empresas en posibles clientes.

Al encontrarse en una zona donde la energía solar no se ha explotado aun, se abre la posibilidad de un mercado más amplio como pueden ser:

- Municipios que quieran contar iluminarias solares en lugares públicos (plazas, rutas, autopistas)
- Zonas rurales donde no llega el tendido eléctrico o los costos de electricidad son muy elevados.
- Ciudadanos que quieran contar con equipos de energía renovable.

Un punto importante a destacar es el poder acercar un producto de origen nacional, no solo a grandes empresas o grupos industriales, sino también al pequeño/mediano empresario, al cual se le brinda una solución muy conveniente.

### 1.1.2 - Pruebas de concepto.

La solución de iluminación LED no solo es un producto útil sino que pronto será ineludible su utilización. Sumando a esta tecnología la energía renovable, hará que en un futuro sea una exigencia los sistemas solares para luminaria LED de espacios públicos.

### **1.1.3 - Pruebas de producto. Competencia. ¿Qué hay en el mercado? ¿En qué se diferencia de lo que voy a hacer?**

Existen varias empresas a nivel nacional e internacional que desarrollaron iluminarias solares comercializando equipamientos completos; desde los paneles solares, baterías, controladores, reguladores y LEDs. Algunas de ellas son:

- Fiasa (Bragado - Bs As - Argentina)
- Bael (Villa Martelli - Bs As - Argentina)
- Solar Technology S.A (Escobar - Bs As - Argentina)
- G&C Energía Solar (Sevilla - España)
- Esco-Tel (México)
- Indisect (México)
- Assic (México)
- IluminaTronics (Monterrey, México DF - México y Florida - Estados Unidos)
- Phocos (Alemania)

Cabe destacar tres empresas que presentan equipos mucho más completos que las otras. Una de ellas es Assic con controladores inteligentes propios y un sistema que le permite configurar y monitorear de forma remota el funcionamiento de la iluminaria. Otra es la empresa IluminaTronics con un sistema de control el cual puede programarse para diferentes luminosidades evaluando los parámetros cargados y el entorno en el que se encuentra instalado. Pero como se mencionó anteriormente ambas empresas comercializan la iluminaria completa. Solo Phocos vende un controlador 3 en 1 (regulador de carga, control de LEDs y con

programación nocturna) el cual puede ser configurado a través de un control remoto vía infrarrojo.

Tras un análisis de alternativas tecnológicas se busca reunir las mejores características conocidas y realizables para lograr un producto de bajo costo y de altas prestaciones.

### **Punto 1 - Tipo de control para el regulador de carga.**

La regulación de tensión y corriente para la carga de las baterías será dada por un regulador switching del tipo reductor con control en tensión y corriente. Una opción más simple y económica es usar un control de dos posiciones (On / Off) pero se vuelve una alternativa mucho menos eficiente ya que la potencia del panel solar no es lineal y se busca que en todo momento el regulador/cargador esté operando a la máxima potencia que puede entregar dicho panel.

### **Punto 2 – Unificación de módulos de control.**

Si un sistema simple de iluminación solar consta de un regulador para cargar las baterías, un módulo para controlar los leds y un control de encendido/apagado. Podemos unificar las distintas partes en una única placa comandada por un microcontrolador, ahorrando hardware, espacio y costos. Esto nos da la posibilidad de tener un manejo del sistema más rápido, menos propenso a fallas y optimizado en todo momento.

### **Punto 3 – Poder hacerlo inteligente.**

Una forma de optimizar y brindar más flexibilidad al sistema es cargando determinados parámetros que requiera el cliente como pueden ser distintas intensidades lumínicas para distintos horarios y modos de bajo consumo en momentos de batería baja. Todos estos se



encontraran cargados en un microcontrolador el cual censará también tensión, corriente y temperatura de los diferentes dispositivos para ejecutar las protecciones necesarias cuando se las requiera.

## **1.2 - Análisis de recursos**

Actualmente contamos con todos los recursos necesarios para realizar el proyecto. Se necesita un panel solar, batería de carga cíclica, LED de 30W y 50W, plafones con disipadores y circuitos electrónicos para placas de prueba. Otro recurso importante a tener en cuenta es el espacio físico donde se probarán los equipos ya que tiene que ser un lugar abierto para poder captar la energía solar y también probar la iluminación concreta de un espacio durante la noche. Con la posibilidad de realizar mediciones y computar los datos estadísticos para comprobar su funcionamiento, eficiencia y autonomía.

## **1.3 - Análisis de costos.**

Una vez superada la etapa de diseño de hardware y software, la placa tendrá un costo de fabricación de aproximadamente 25 dólares en materiales, 25 dólares en placa y montaje, lo cual sería el mayor punto competitivo del producto ya que actualmente los equipos tienen un costo superior.

## **1.4 - Ciclo de vida del producto.**

El ciclo de vida de la placa debería ser de al menos 10 años teniendo en cuenta la calidad de componentes. En el sistema completo, la mayor limitante en su vida útil será la batería, que es la que ordenará el ciclo de mantenimiento.

## 2 - Capítulo 2: Desarrollo

### 2.1 - Análisis para el desarrollo.

#### 2.1.1 - Diagrama de Bloques.

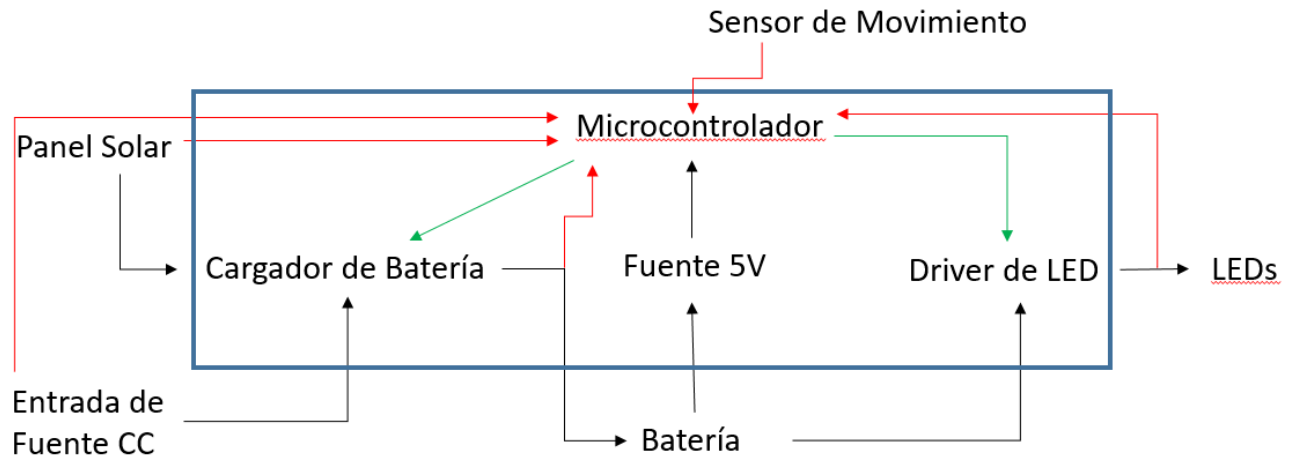


Figura 2 - Diagrama de Bloques

En el anterior diagrama de bloques se puede observar la totalidad de los dispositivos que constituyen la iluminaria.

Las flechas negras indican la parte de potencia, las verdes las de control y las rojas las de realimentación. El recuadro en azul indica las partes del controlador que se quiere realizar, es decir la placa (PCB) concretamente.

#### 2.1.2 - Lógica de Funcionamiento

El cargador de batería estará conformado por un bloque de potencia denominado “Buck Converter”, “Step-Down Converter”, o “Convertir Reductor” ya que la tensión del panel solar siempre será superior al de la batería. Por momentos este regulará tensión y por momentos corrientes según el ciclo de carga en el que se encuentre. El mismo tomará la corriente generada

por el panel fotovoltaico y tendrá también la opción de hacerlo desde una fuente de continua si el panel no genera potencia. Estamos hablando en un sistema dual.

El driver del LED está formado por otro bloque de potencia del tipo “Step Up”, “Boost Converter” o “Convertidor Elevador”, el cual elevará la tensión de la batería hasta aproximadamente 32 [V], donde se mantendrá dentro de ciertos márgenes para que la corriente del LED sea constante en todo momento. También tendrá un control de temperatura de la pastilla del LED ya que debe garantizarse estar en los márgenes aceptados de corriente y temperatura para asegurar su máxima vida útil y correcto funcionamiento.

Estos dos grandes bloques de potencia serán comandados por un microcontrolador el cual será el encargado de dar el óptimo y correcto funcionamiento.

En el mismo se medirán las variables de tensión, corriente y temperatura; del panel solar o fuente de continua, de la batería y de los LEDs. Mediante los parámetros dispuestos por programación y el sensado de datos se ejecutaran ciertas rutinas ya cargadas en el microcontrolador para mantener el LED en corriente constante y temperatura aceptable pudiendo regular la potencia del mismo según se requiera, cargar de batería de forma adecuada según el fabricante, verificar si es de día o noche mediante el panel solar, y la tarea de encontrar en todo momento el punto máximo de potencia del mismo, el cual será el parámetro más variable e importante a determinar para sacar el máximo provecho al sistema y lograr una iluminación de LED autosustentable y viable en tamaños de batería, panel solar y costos de fabricación.

Ayudando a la eficiencia y sobredimensionamiento aceptable del sistema, en cada ocasión se podrán cambiar los algoritmos del microcontrolador mediante una aplicación de pc; el cual el usuario elegirá los parámetros adecuados a su necesidad.

### 2.1.3 - Dispositivos de la Luminaria.

Como se observa en el diagrama de bloques, la iluminaria está compuesta por distintos dispositivos. El proyecto se basa en unir todos estos a través de un controlador para que actúen de la forma más eficiente entre ellos.

Estos fueron prestados para el desarrollo del proyecto, a continuación describiremos sus características para tener en cuenta a la hora del diseño del controlador.

#### Panel Solar

Contamos con un panel solar PS- 80 de 80W.

ESPECIFICACIONES						
Modelo	PS-30	PS-50	PS-80	PS-120	PS-150	PS-250
<b>Especificaciones eléctricas</b>						
Potencia máxima (Pmax)	30W	50W	80W	120W	150W	250W
Voltaje nominal (Vmp)	18.36V	19.12V	18.25V	18.83V	18.50V	30.80V
Corriente (Imp)	1.63A	2.62A	4.38A	6.37A	8.11A	8.12A
Tensión en circuito abierto (Voc)	22.0V	22.68V	21.96V	22.46V	22.50V	37.50V
Corriente en cortocircuito (Isc)	1.75A	2.80A	4.69A	6.82A	8.56A	8.56A
Tensión máxima	1000V (IEC) / 600V (UL)					
Serie máxima del fusible	10A					
<b>Especificaciones físicas</b>						
Celda solar	Silicio policristalino					
Dimensiones (mm)	710x360x28	545x668x28	905x668x35	1230x668x35	1480x670x35	1650x992x40
Peso neto (Kgs)	3.1	4.3	7.2	9.7	12	17
<b>Especificaciones de temperatura</b>						
Condiciones de temperatura nominal	-40°C a +85°C					
Temperatura (NOCT)	45°C					
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.47% °C					
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.34% °C					
Coefficiente de temperatura de Isc	+0.05% °C					
Coefficiente de temperatura de Vmp	-0.34% °C					
Coefficiente de temperatura de Imp	+0.05% °C					
<b>Garantía de performance</b>						
90% de la potencia	10 años					
80% de la potencia	25 años					

Figura 3 - Características del Panel Solar(Solares)

Sabemos que este panel tiene las siguientes curvas:

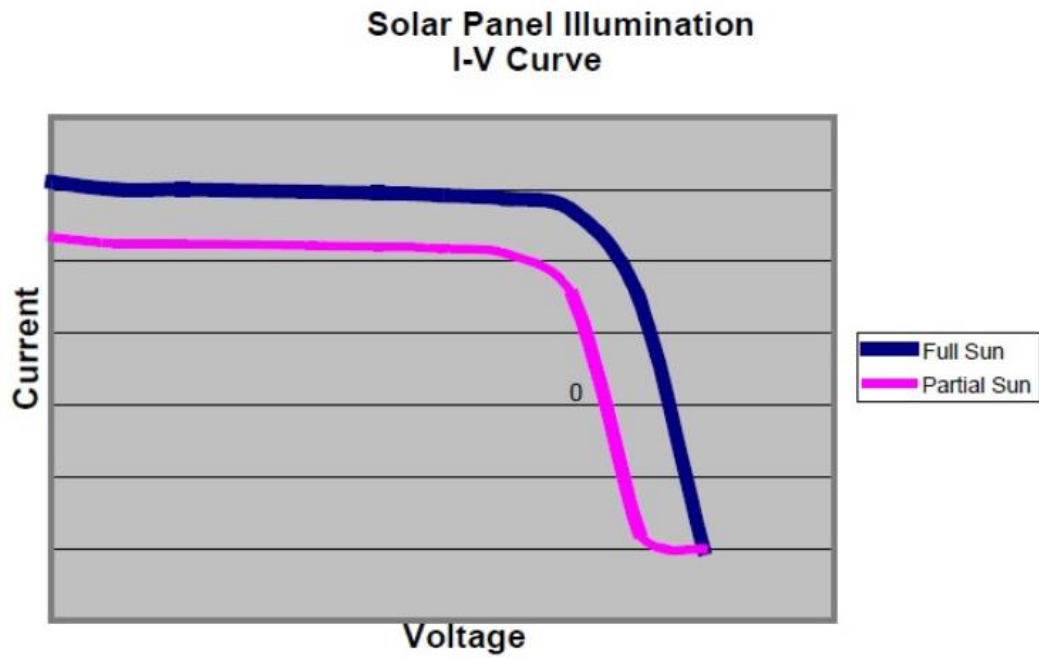


Figura 4 - Variación de Tensión y Corriente con respecto a la Iluminación. (Converter, 2008)

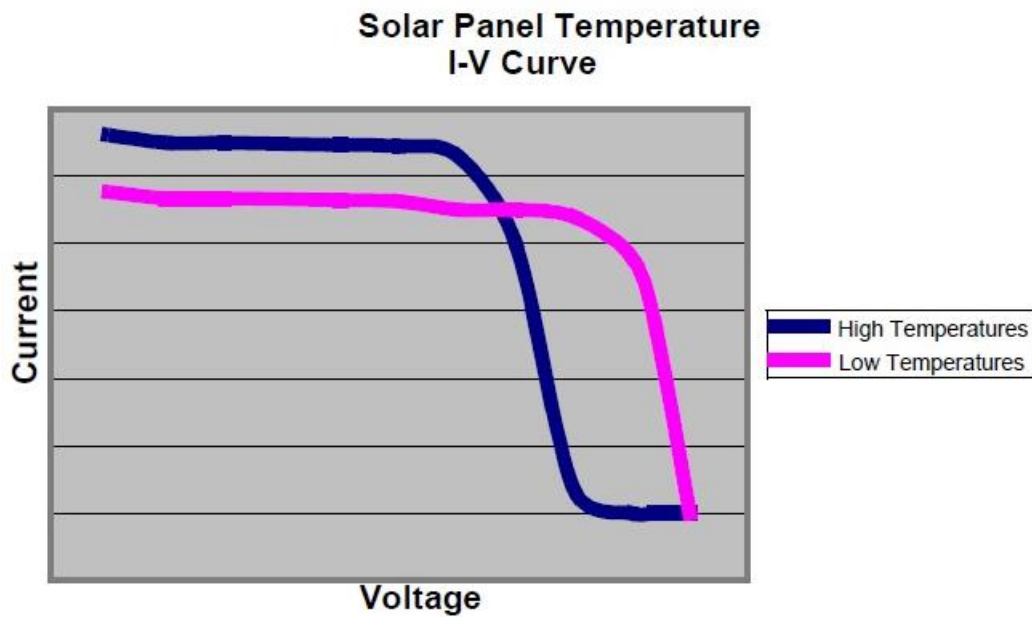
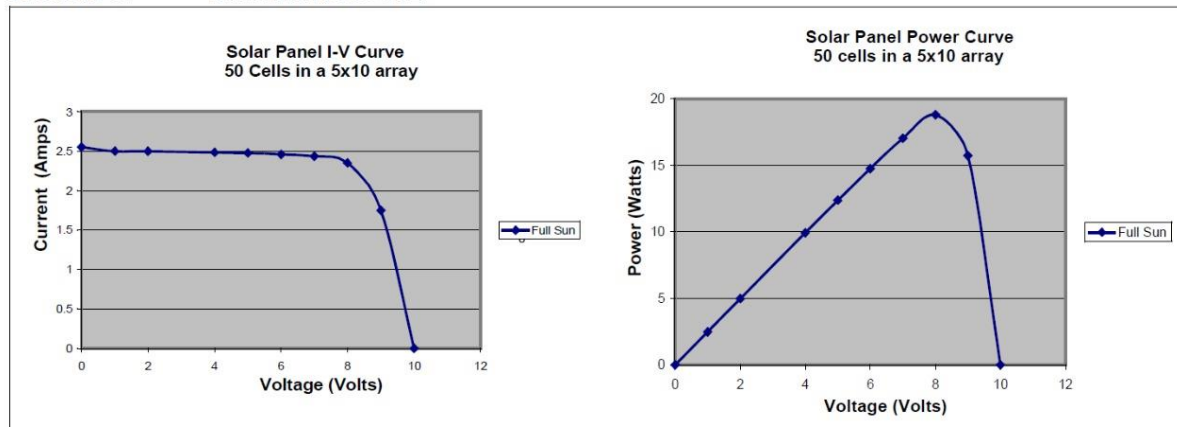


Figura 5 - Variación de Tensión y Corriente con respecto a la Temperatura (Converter, 2008)

En la siguiente imagen se puede observar que el punto en el cual existe la mayor potencia del panel es aquel codo de la curva de tensión y corriente.

Teniendo en cuenta este punto como parámetro de mayor eficiencia, nuestra primera consideración para el controlador debe ser que la tensión y corriente se encuentren en esos valores todo el tiempo.

**FIGURE 8: DITHER ROUTINE**



*Figura 6 - Tensión en función de la Corriente y la Potencia (Converter, 2008)*

## Batería

Contamos con una batería 6FM75-X de plomo – ácido de 12V 75Ah. Esta es sellada de libre mantenimiento.

Debemos tener en cuenta que este tipo se reciclan en un 90% aproximadamente.

6FM75-X 12V 75Ah

General Features

- Positive and negative plates in lead-calcium-tin alloy
- Stable Quality & High Reliability
- Sealed Construction
- Long Service Life
- Maintenance-Free Operation

- Low Pressure Venting System
- Low Self Discharge
- U. L. Component Recognition
- Six months shelf life at 20°C
- Design life 10 years





Dimensions and Weight

	SI Units	English Units
Length	258mm	10.2inch
Width	166mm	6.54inch
Height	206mm	8.11inch
Total Height	215mm	8.46inch
Approx. Weight	23.5Kg	51.7lbs

Performance Characteristics

Figura 7 - Características de la Batería (6FM75-X)

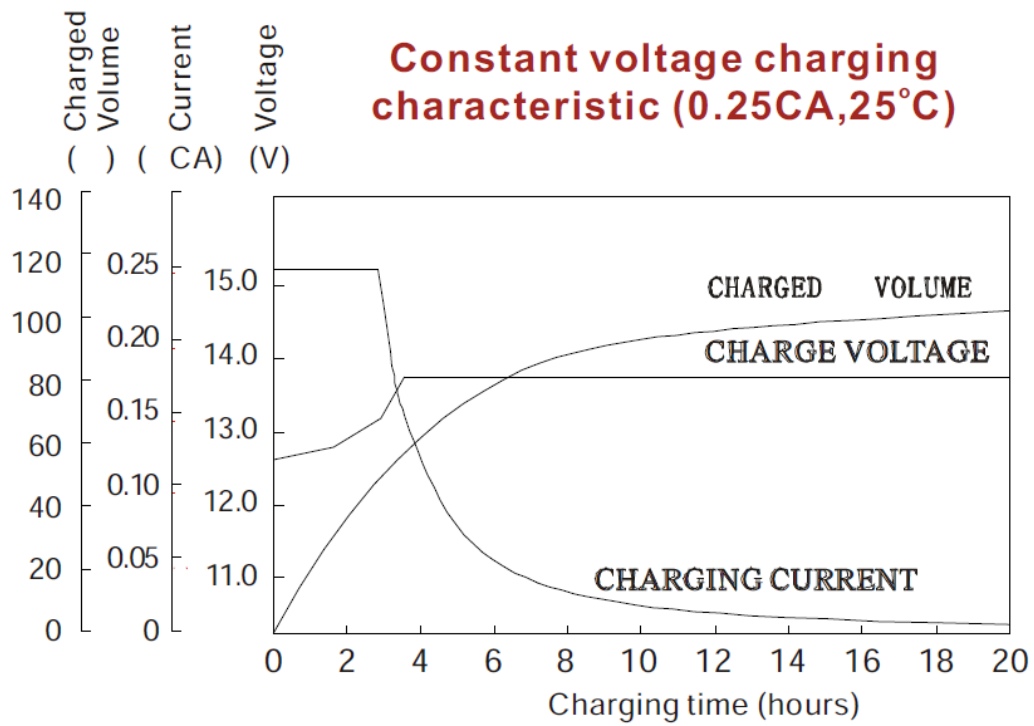


Figura 8 - Curva de Carga (6FM75-X)

La segunda consideración a momentos del diseño del controlador es poder cargar la batería con la mayor potencia del panel, teniendo las mínimas pérdidas. Se debe tener en cuenta la tensión máxima, la corriente nominal y respetar las curvas de carga y descarga para extender su vida útil.



## LED

El LED que se utilizara será el CX3050 de la marca Cree XLamp.

### Cree® XLamp® CXA3050 LED



Figura 9 - Array de LED(CXB3050)

En las siguientes imágenes vemos las características y curvas del mismo, las cuales nos dan una idea que podemos trabajar este a 50W (35[V], 1.4[A])

Characteristics	Unit	Typical	Maximum
Viewing angle (FWHM)	degrees	115	
ESD withstand voltage (HBM per Mil-Std-883D)	V		8000
DC forward current	mA		2500*
Reverse current	mA		0.1
Forward voltage (@ 1400 mA, T <sub>j</sub> = 85 °C)	V	36	
Forward voltage (@ 1400 mA, T <sub>j</sub> = 25 °C)	V		42

\* Refer to the Operating Limits section.

Figura 10 - Características del LED (CXB3050)

LED	Model	Flux	Temperature
LED 1	Cree XLamp CXA3050 LES 23r (EZW)	X4 [6010]	T <sub>c</sub> (°C) = 25
LED 2	Cree XLamp CXA3050 LES 23r (EZW)	X4 [6010]	T <sub>c</sub> (°C) = 60
LED 3	Cree XLamp CXA3050 LES 23r (EZW)	X4 [6010]	T <sub>c</sub> (°C) = 85

Figura 11 - Descripción de LEDs

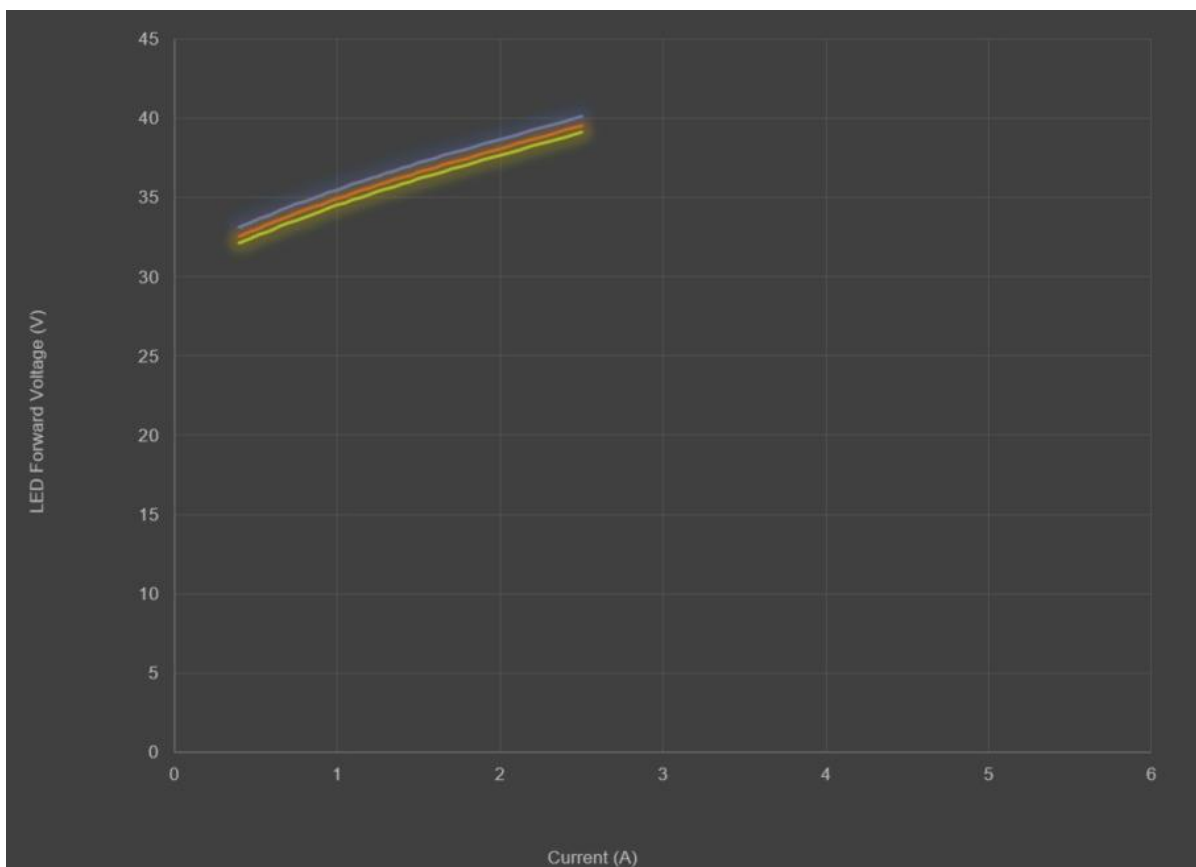


Figura 12 - Tensión - Corriente

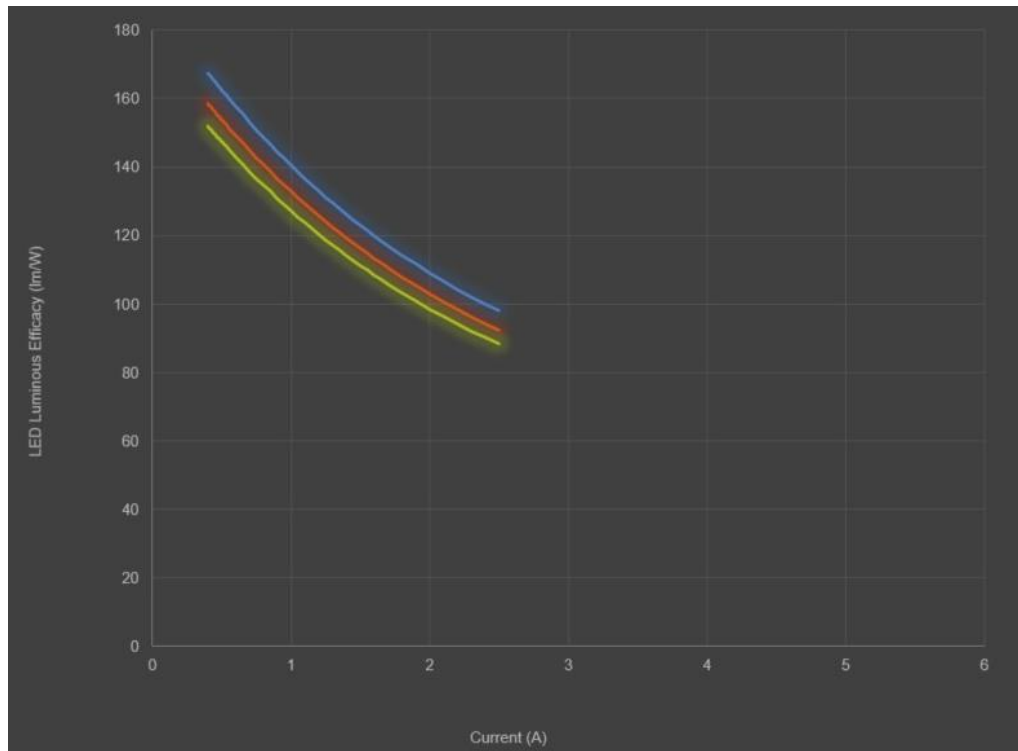


Figura 13 - Eficiencia - Corriente. Mayor Eficiencia con menor Temperatura

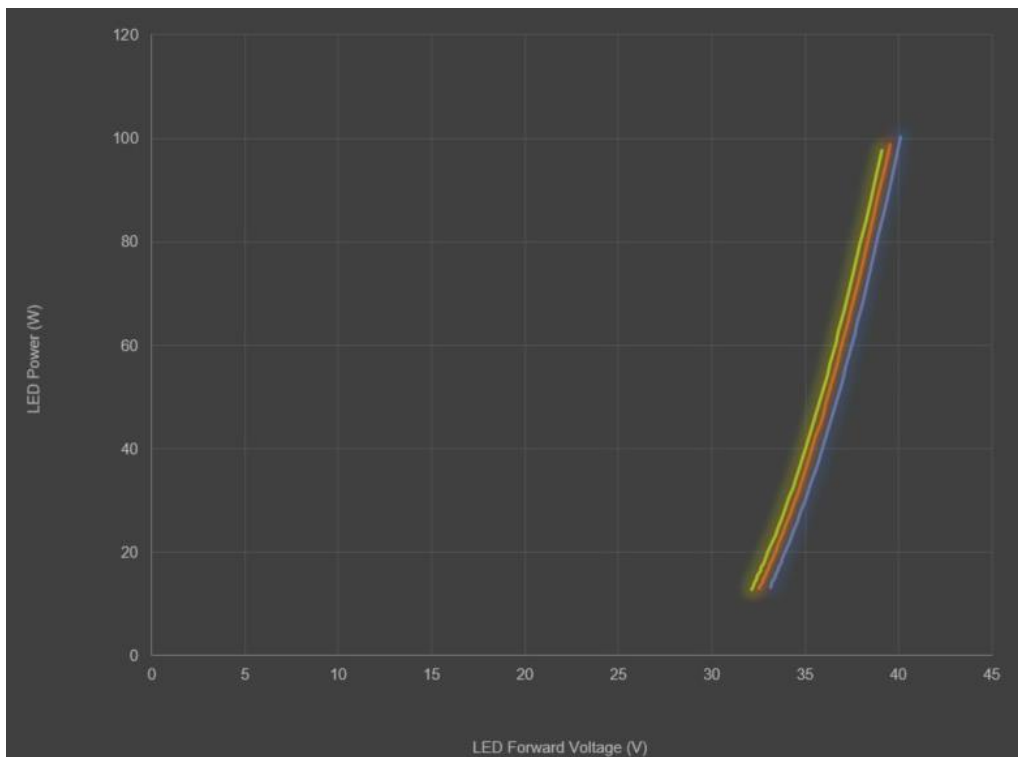
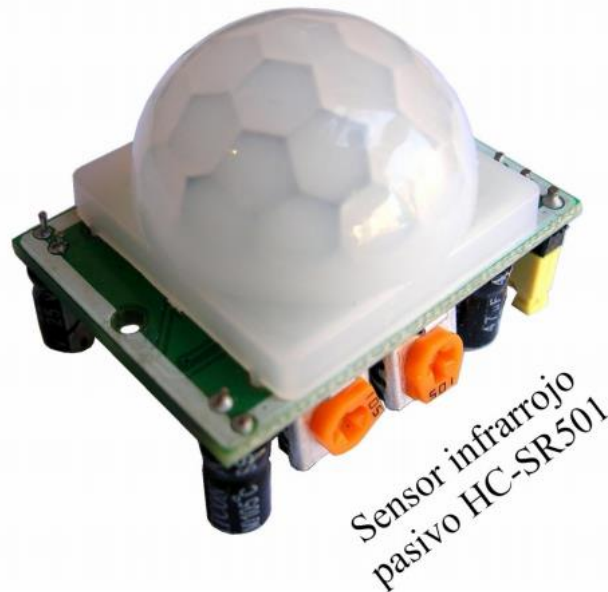


Figura 14 - Potencia – Tensión

### Sensor de Movimiento - HC-SR501

Para la detección de movimiento se utilizó un módulo (PIR) HC-SR501. Este utiliza un circuito integrado BISS0001 al cual ingresa la señal por medio del sensor PIR LHI778.



*Figura 15 - Sensor PIR HC-SR501 (HC-SR501, 2017)*

El sensor utiliza dos potenciómetros y un jumper que permiten modificar sus parámetros y adaptarlo a las necesidades de la aplicación: sensibilidad de detección, tiempo de activación, y respuesta ante detecciones repetitivas.

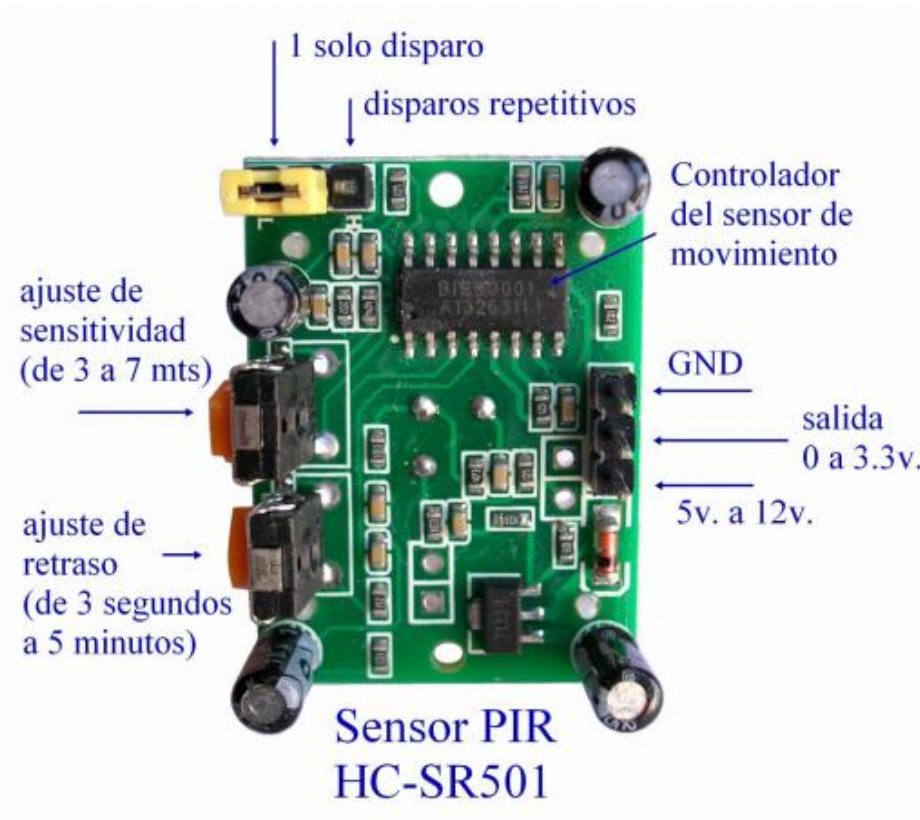


Figura 16 - Partes del Sensor (HC-SR501, 2017)

Detecta desde una altura de 3 a 7 metros (variable) con un rango de 110° y se puede ajustar el tiempo de alarma activada el cual es de 3 segundos a 5 minutos con modo de un disparo o disparos repetitivos.

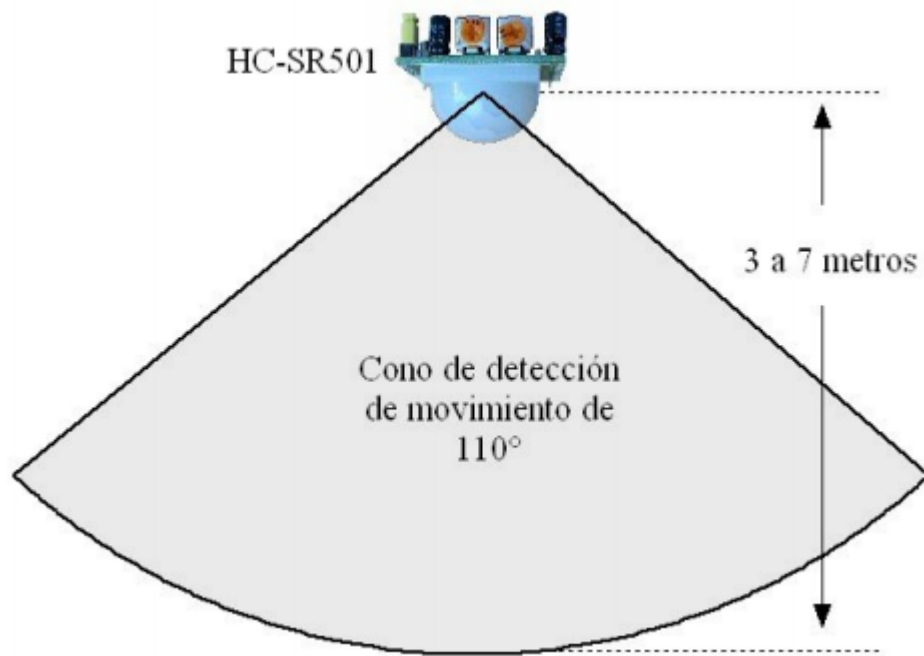


Figura 17 - Cono de Detección (HC-SR501, 2017)

- Voltaje de alimentación: de 5 a 12 VDC
- Consumo promedio: <1 [mA]
- Salida de alarma activa Vo con nivel alto de 3.3 volts y 5 mA.
- Temperatura de operación: -15° a +70° C.

### 2.1.4 - Bloque 1 – Cargador de Baterías (Teórico)

Como se mencionó, para esta etapa se necesita un Convertidor Reductor ya que la tensión del panel elegido es mayor que la tensión de la batería ( $V_s > V_o$ )

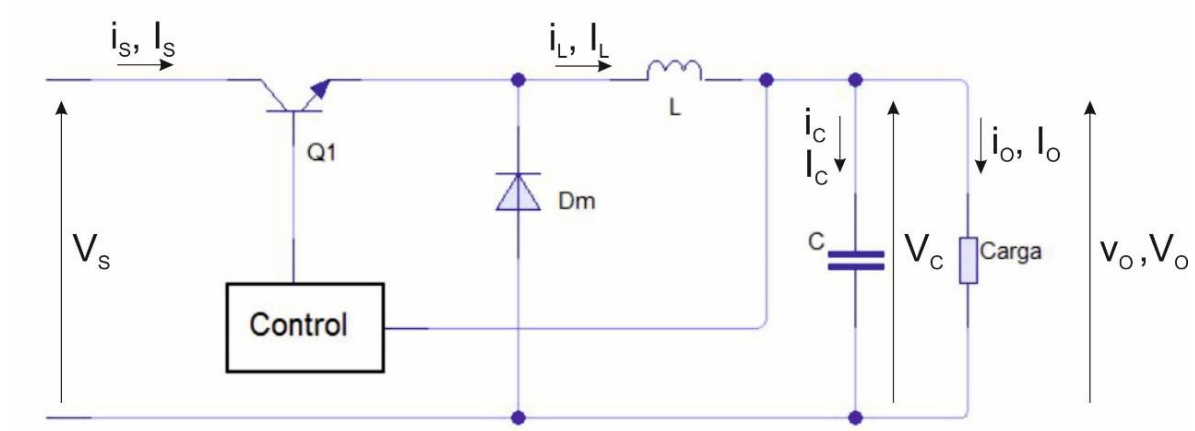


Figura 18 - Convertidor Reductor (Rashid)

En la imagen anterior se observa un Convertidor Reductor o “Buck Converter”, el cual es un convertidor de potencia de DC/DC sin aislamiento, donde en la salida se obtiene un voltaje menor al de su entrada.

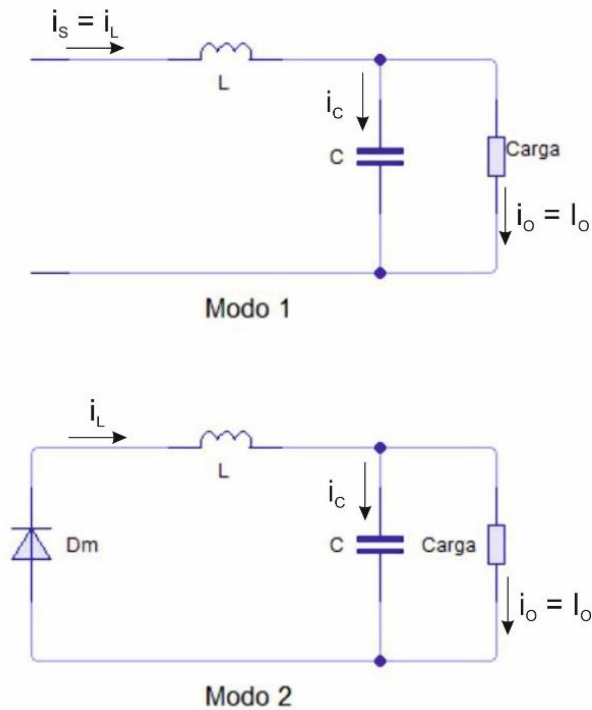


Figura 19 - Modos de trabajo del convertidor reductor (Rashid)

El circuito consta de 2 modos de trabajo:

Modo 1: el interruptor se cierra para  $t=0$ , la corriente de entrada, que comienza a elevarse, pasa a través de la bobina, el capacitor de filtro y la carga.

Modo2: para  $t = t_1$  el interruptor se abre, el diodo de marcha libre comienza a conducir debido a la energía almacenada por el inductor. La corriente continua en el mismo sentido a través de  $L$ ,  $C$ , la carga y  $D_m$ , disminuyendo hasta el próximo ciclo donde el interruptor se vuelve a conectar.



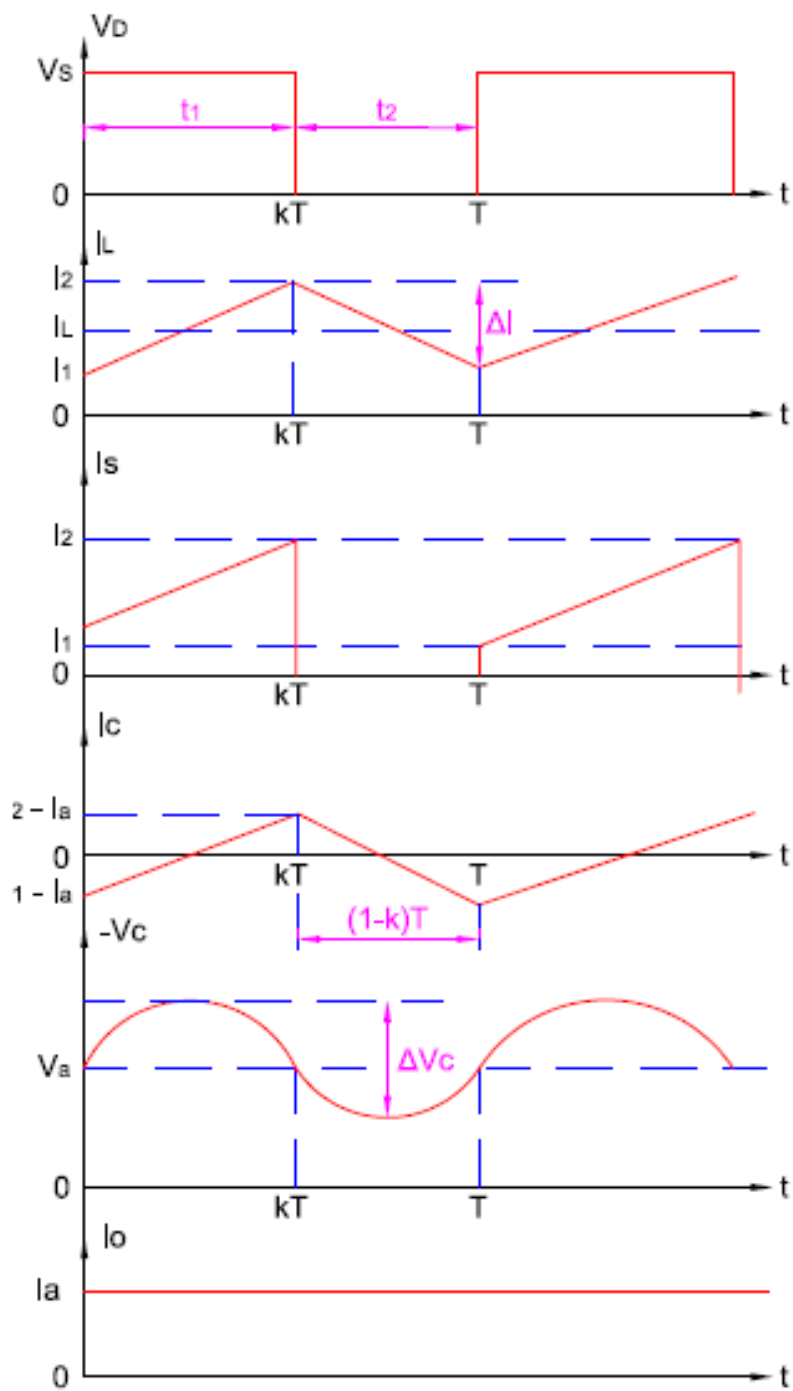


Figura 20 - Formas de onda del Convertidor Reductor (Rashid)

Para el diseño de este convertidor se deben considerar los diferentes valores y características de:

- $V_s$ : tensión de entrada
- $V_a$ : tensión de salida
- $V_c$ : tensión en bornes del capacitor
- $V_L$ : tensión en bornes de la bobina
- $I_L$ : corriente a través del inductor
- $I_c$ : corriente a través del capacitor
- $I_s$ : corriente de entrada
- $I_a$ : corriente de salida
- $\Delta I$ : corriente ondulatoria de pico a pico del inductor L
- T: período de conmutación
- f: frecuencia de conmutación
- L: valor de la bobina
- C: valor del capacitor
- k: ciclo de trabajo.

Voltaje en el Inductor

*Ecuación 1- Voltaje del Inductor*

$$V_L = L * \left( \frac{di}{dt} \right)$$

Suponiendo que la corriente en el inductor se eleva linealmente desde  $I_1$  a  $I_2$  en un tiempo  $t_1$

*Ecuación 2 – Variación de Tensión del Inductor*

$$V_S - V_a = L * \frac{(I_2 - I_1)}{t_1}$$

*Ecuación 3 – Variación de la Corriente*

$$\Delta I = (I_2 - I_1)$$

Obtenemos

*Ecuación 4 – Tiempo 1*

$$t_1 = L * \frac{\Delta I}{(V_S - V_a)}$$

Y la corriente en el inductor desciende linealmente de I2 a I1 en un tiempo t2 (Vs = 0)

*Ecuación 5 – Tiempo 2*

$$-V_a = L * \frac{-\Delta I}{t_2}$$

*Ecuación 6 – Tiempo 2*

$$t_2 = L * \frac{\Delta I}{V_a}$$

Igualando  $\Delta I$  para  $t_1$  y  $t_2$

*Ecuación 7 – Variación de la Corriente*

$$\Delta I = \frac{(V_S - V_a) * t_1}{L} = V_a * \frac{t_2}{L}$$

Si tenemos como período  $T$ , y  $t_1 + t_2 = T$

*Ecuación 8 – Período para  $t_1$*

$$t_1 = k * T$$

*Ecuación 9 – Período para  $t_2$*

$$t_2 = (1 - k) * T$$

Podemos obtener el voltaje promedio de salida reemplazando.

*Ecuación 10 – Voltaje de Salida*

$$V_a = V_S * \frac{t_1}{T} = V_S * k$$

Si suponemos que el circuito no tiene pérdidas, podemos decir que  $P_s = P_a$

*Ecuación 11- Igualación de Potencias*

$$V_S * I_S = V_a * I_a \Rightarrow I_S = I_a * k$$

El periodo de conmutación es

*Ecuación 12 – Período de Conmutación*

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = L * \frac{\Delta I}{(V_s - V_a)} + L * \frac{\Delta I}{V_a}$$

*Ecuación 13 – Frecuencia de Conmutación*

$$\frac{1}{f} = L * \Delta I * \frac{V_a + (V_s - V_a)}{(V_s - V_a) * V_a} = L * \Delta I * \frac{V_s}{(V_s - V_a) * V_a}$$

Lo que nos da la corriente ondulatoria

*Ecuación 14 – Corriente Ondulatoria*

$$\Delta I = \frac{(V_s - V_a) * V_a}{f * L * V_s}$$

Donde la inductancia del filtro la podemos calcular como

*Ecuación 15 – Inductancia del Filtro*

$$L = \frac{(V_s - V_a) * V_a}{f * \Delta I * V_s}$$

Teniendo como parámetros de diseño la tensión de entrada, tensión de salida, corriente de trabajo, frecuencia de trabajo, corriente ondulatoria sobre L; podemos calcular el valor de la inductancia a utilizar.

Para el cálculo del capacitor de filtro utilizamos la ley de corrientes de Kirchhoff.

*Ecuación 16 - Ley de corrientes de Kirchoff*

$$I_L = I_c + I_o$$

Si suponemos que la componente ondulatoria de la carga  $\Delta I_o$  es muy pequeña, obtenemos

*Ecuación 17- Corriente Ondulatoria*

$$\Delta I_L = \Delta I_c$$

Siendo la corriente promedio del capacitor que fluye para  $t1/2 + t2/2 = T/2$  es

*Ecuación 18 – Corriente Promedio*

$$I_c = \frac{\Delta I}{4}$$

La tensión del capacitor se expresa como

*Ecuación 19 – Tensión del Capacitor*

$$v_c = \frac{1}{C} \int I_c dt + v_c(t = 0)$$

Y la tensión ondulatoria pico a pico en el capacitor es

*Ecuación 20 – Tensión ondulatoria del Capacitor*

$$\Delta V_c = v_c - v_c(t = 0) = \frac{1}{C} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I}{4} dt = \frac{\Delta I * T}{8C} = \frac{\Delta I}{8C * f}$$

Siendo el capacitor

*Ecuación 21- Capacitor del Filtro*

$$C = \frac{\Delta I}{8 * \Delta V_c * f}$$

El regulador reductor requiere de un solo transistor, es sencillo y tiene una alta eficiencia (mayor al 90%). La variación de la corriente de carga con respecto al tiempo está limitado por la corriente del inductor. Al ser la corriente de entrada discontinua y se requiere por lo general de un filtro suavizante de entrada.

Esta configuración proporciona una polaridad de voltaje y corriente unidireccional de salida. En caso de un posible cortocircuito a través de la trayectoria del diodo, es necesario tener un circuito de protección.

### 2.1.5 - Bloque 2 – Driver de LED (Teórico)

Como se mencionó al principio de este capítulo, para esta etapa se necesita un Convertidor Elevador.

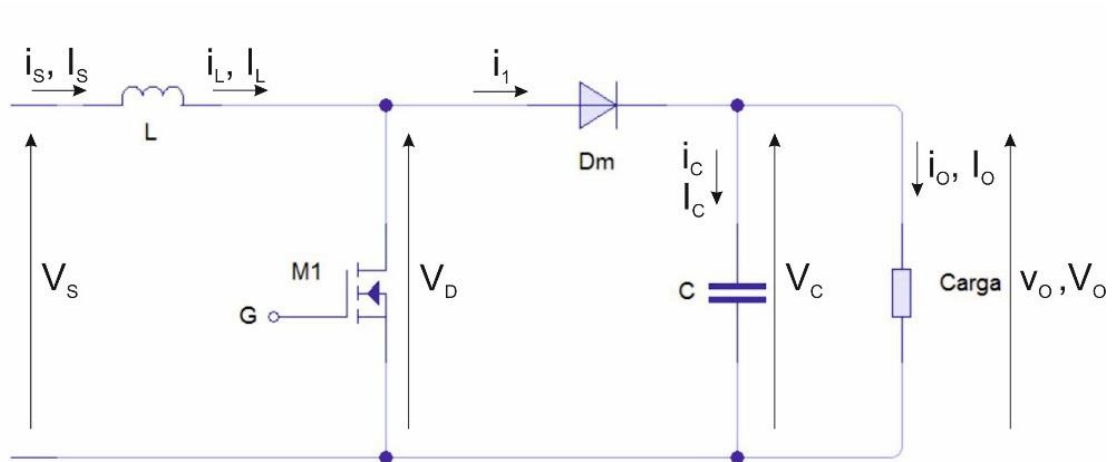


Figura 21 - Convertidor Elevador (Rashid)

En la imagen anterior se observa un Convertidor Elevador o “Boost Converter” el cual es un convertidor de potencia de DC/DC sin aislamiento, donde en la salida se obtiene un voltaje mayor al de su entrada.



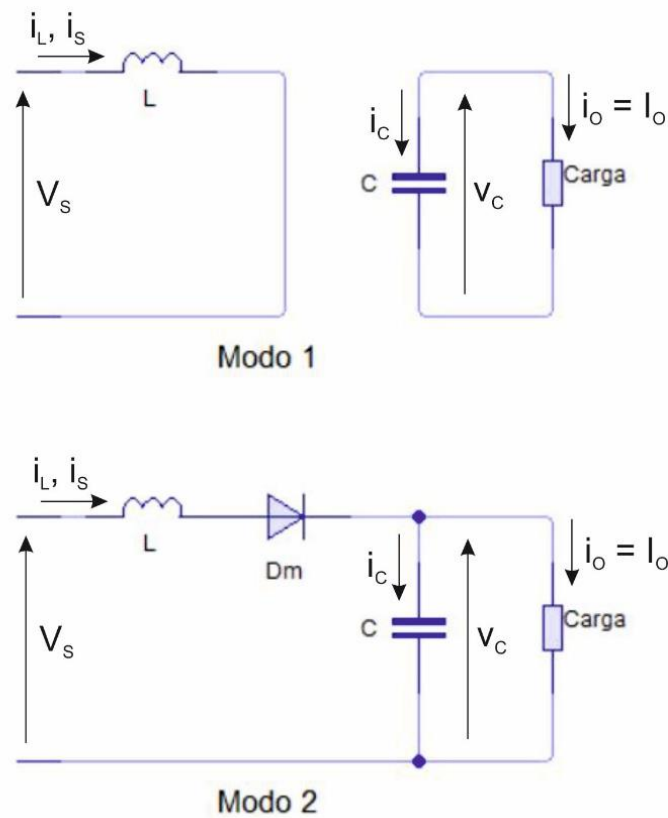


Figura 22 - Modos de Trabajo del Convertidor Elevador (Rashid)

El circuito consta de 2 modos de trabajo:

Modo 1: el interruptor se cierra para  $t=0$ , la corriente de entrada, que comienza a elevarse, pasa a través de la bobina y el interruptor. De esta manera la energía es almacenada por la bobina.

Modo 2: para  $t = t_1$  el interruptor se abre y la corriente comienza a pasar a través de la bobina, el diodo de marcha libre, el capacitor de filtro y la carga, disminuyendo hasta el próximo ciclo donde el interruptor se vuelve a conectar.

La energía almacenada por el inductor es transferida a la carga y sumada a la energía de la fuente de entrada. De esta manera conseguimos un incremento de la tensión de salida con respecto a la de entrada.

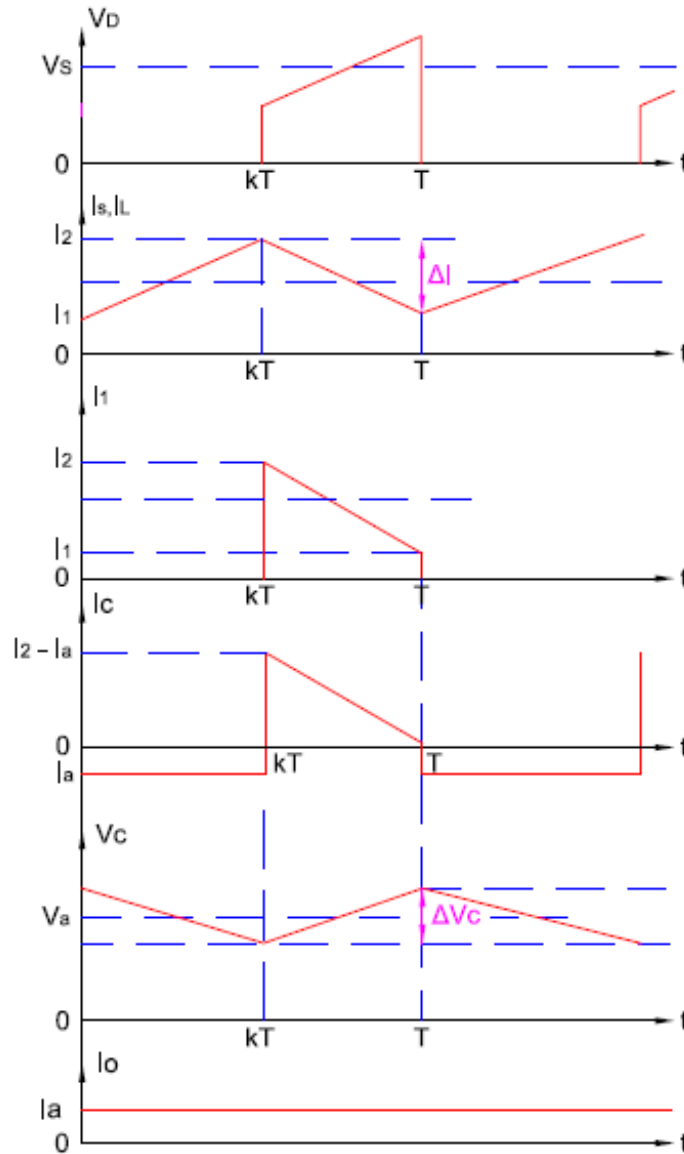


Figura 23 - Formas de onda del Convertidor Elevador (Rashid)

Suponiendo que la corriente a través del inductor L se eleva linealmente desde  $I_1$  hasta  $I_2$  durante  $t_1$

*Ecuación 22- Tensión del Inductor*

$$V_S = L * \frac{(I_2 - I_1)}{t_1} = L * \frac{\Delta I}{t_1}$$

*Ecuación 23- Tiempo t1*

$$t_1 = L * \frac{\Delta I}{V_S}$$

y la corriente en el inductor desciende linealmente de I2 a I1 en un tiempo t2

*Ecuación 24 – Tiempo t2*

$$V_S - V_a = L * \frac{-\Delta I}{t_2}$$

*Ecuación 25- Tiempo t2*

$$t_2 = L * \frac{-\Delta I}{V_S - V_a}$$

De las ecuaciones anteriores obtenemos que

*Ecuación 26 – Variación de Corriente*

$$\Delta I = \frac{V_S * t_1}{L} = \frac{(V_a - V_S) * t_2}{L}$$

Si tenemos como periodo T, y  $t_1 + t_2 = T$

Ecuación 27 – Período para  $t_1$ 

$$t_1 = k * T = L * \frac{\Delta I}{V_s}$$

Ecuación 28 – Período para  $t_2$ 

$$t_2 = (1 - k) * T = L * \frac{-\Delta I}{V_s - V_a}$$

podemos obtener el voltaje promedio de salida reemplazando

Ecuación 29 – Variación de Corriente

$$\Delta I = \frac{kT * V_s}{L}$$

Ecuación 30 – Despeje algebraico

$$(1 - k) * T = L * \frac{\frac{kT * V_s}{L}}{V_a - V_s}$$

Ecuación 31 – Variación de Tensión

$$V_a - V_s = \frac{kT * V_s}{(1 - k) * T}$$

Ecuación 32 – Voltaje Promedio de Salida

$$V_a = \frac{k * V_s + V_s * (1 - k)}{(1 - k)}$$

*Ecuación 33 – Voltaje Promedio de Salida*

$$V_a = \frac{V_s}{1 - k}$$

Si suponemos que el circuito no tiene pérdidas podemos decir que  $P_s = P_a$

*Ecuación 34 – Igualación de Potencias*

$$V_s * I_s = V_a * I_a \rightarrow I_s = \frac{I_a}{1 - k}$$

El periodo de conmutación es

*Ecuación 35 – Período de Conmutación*

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = L * \frac{\Delta I}{V_s} + L * \frac{\Delta I}{V_a - V_s}$$

*Ecuación 36 - Frecuencia de Conmutación*

$$\frac{1}{f} = L * \Delta I * \left[ \frac{V_s + (V_a - V_s)}{(V_a - V_s) * V_s} \right] = L * \Delta I * \frac{V_a}{(V_a - V_s) * V_s}$$

Lo que nos da la corriente ondulatoria

*Ecuación 37 – Corriente Ondulatoria*

$$\Delta I = \frac{(V_a - V_s) * V_s}{f * L * V_a}$$

Donde la inductancia del filtro la podemos calcular como

*Ecuación 38 – Inductancia del Filtro*

$$L = \frac{(V_a - V_s) * V_s}{f * \Delta I * V_a} = \frac{V_s * k}{f * \Delta I}$$

Cuando el interruptor está activado, el capacitor suministra la corriente de carga en el periodo de 0 a  $t_1$ . La corriente promedio del capacitor durante este periodo es  $I_c = I_a$  y el voltaje de la componente ondulatoria de pico a pico del capacitor es

*Ecuación 39 – Voltaje ondulatorio del Capacitor*

$$\Delta V_c = v_c - v_c(t = 0) = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_a dt = \frac{I_a * t_1}{C}$$

Recordando que

*Ecuación 40 – Sustitución Algebraica*

$$\Delta I = \frac{(V_a - V_s) * V_s}{f * L * V_a} = \frac{t_1 * V_s}{L}$$

Nos queda que

*Ecuación 41- Tiempo  $t_1$* 

$$t_1 = \frac{(V_a - V_s)}{f * V_a}$$

Siendo el capacitor

*Ecuación 42 - Voltaje ondulatorio del Capacitor*

$$\Delta V_c = \frac{I_a * t_1}{C} = \frac{I_a}{C} * \frac{(V_a - V_s)}{f * V_a}$$

## Ecuación 43 – Capacitor del Filtro

$$C = \frac{I_a}{\Delta V_c} * \frac{(V_a - V_s)}{f * V_a} = \frac{I_a}{\Delta V_c} * \frac{k}{f}$$

Al igual que el regulador reductor, el regulador elevador tiene un transistor, su eficiencia es alta. La corriente de entrada es continua. Sin embargo, a través del transistor de potencia debe fluir una corriente de pico alta. El voltaje de salida es muy sensible a cambios en el ciclo de trabajo  $k$  y puede resultar difícil estabilizar el regulador. La corriente promedio de salida es menor que la corriente promedio del inductor en un factor  $(1-k)$ , y una corriente RMS mucho más alta fluirá a través del capacitor de filtro. Dando como resultado el uso de un capacitor y un inductor de mayor tamaño que los correspondientes en el regulador reductor.

2.1.6 -

### 2.1.7 - Pérdidas en los convertidores.

Existen varias consideraciones a la hora de diseñar un convertidor de DC/DC. La forma, el tamaño de las pistas y la disposición de los componentes de la placa son críticos para minimizar las pérdidas en conmutación. Algunos consejos de diseño son:

- ◆ Mantener las pistas cortas y anchas. Especialmente en las zonas de alta corriente como son la de tierra y en las conexiones de los elementos de conmutación.
- ◆ Mantener los puntos de sensado de tensión y corriente, alejados de los nodos de conmutación.

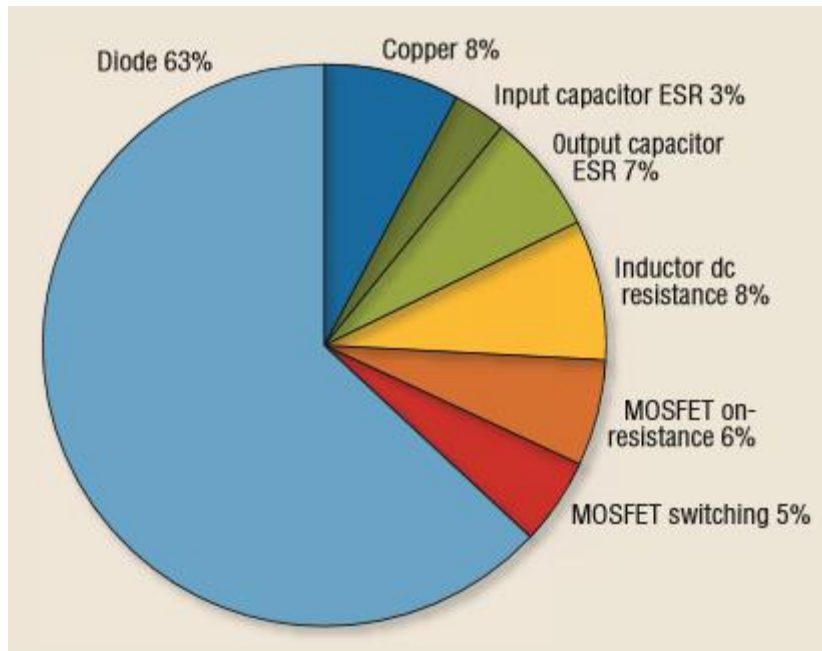


Figura 24 - Pérdidas en un convertidor DC/DC (Electronics)

La figura anterior nos muestra el porcentaje de pérdida de potencia que se tiene en un convertidor de estas características. Estas son originadas por los siguientes factores:

- ◆ Pérdidas en el elemento activo de conmutación cuando se encuentra en conducción.
- ◆ Pérdidas por conmutación en este dispositivo debido al pasaje del estado de conducción al de corte y viceversa.
- ◆ Pérdidas en el diodo cuando se encuentra en conducción.
- ◆ Pérdidas en la resistencia equivalente serie de los elementos inductivos y capacitivos.
- ◆ Pérdidas en los circuitos magnéticos.

Como se puede observar, el mayor porcentaje de pérdida de potencia está dada en el diodo de marcha libre. Éste se puede reemplazar por un transistor del tipo MOSFET.



Veamos un ejemplo:

Tenemos un diodo Schottky, con una caída de tensión de 0.5V cuando circula 1A. La potencia disipada será de unos 500mW ya que dependerá de  $P = V_{dm} * I_{dm}$ . Pero si en su lugar, se encuentra un transistor MOSFET con una resistencia drenador surtidor de 10 mΩ, la pérdida de potencia será  $P = I_m^2 * r_{ds}$  dándonos  $P = 10mW$ .

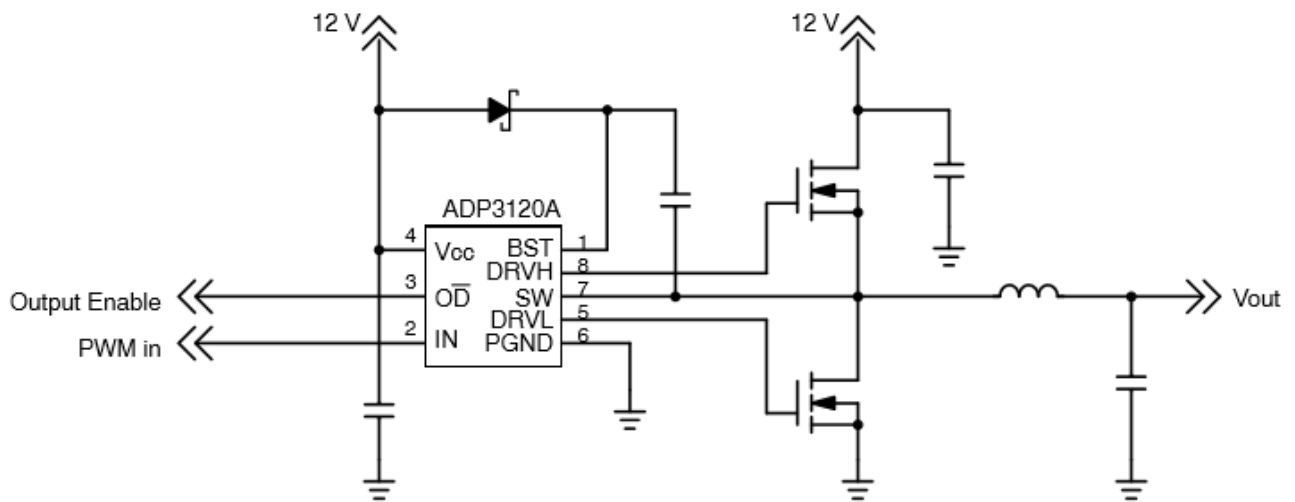


Figura 25 - Synchronous Buck Converter con MOSFET (ADP3120A, 2012)

El en circuito anterior podemos observar un convertidor reductor, realizado con el integrado ADP3120A. Para mayor eficiencia, el fabricante propone colocar un transistor MOSFET en vez de un diodo de marcha libre. Ambos cumplen con la misma función, pero como anteriormente se explicó, las pérdidas de potencia son menores. Éste tipo de convertidor se llama “Synchronous Buck Converter” y el cual es el que usaremos de forma práctica para el cargador de baterías.

### 2.1.8 - Comportamiento de los distintos tipos de capacitores para distintas frecuencias de trabajo.

Otro factor importante en las pérdidas del convertidor de continua es debido a la resistencia serie del capacitor de salida, el cual dependerá de sus características físicas, es decir del tipo de material con el que está construido.

Cuando se calcula el filtro de un convertidor, el valor de la capacidad influye en las máximas desviaciones del valor de continua (ripple) y también en que tan rápido puede responder el sistema a un cambio brusco en la carga. Cuando mayor sea la frecuencia de trabajo, menor será el valor para las mismas condiciones de ripple. Aquí es donde entra en juego el criterio para elegir que capacitor se adapta mejor a nuestras necesidades. Debemos considerar la capacidad, la tensión máxima que soporta (la cual debe ser mayor a la tensión de trabajo), el material de que esta hecho en base a minimizar pérdidas en el dispositivo y el costo del producto.

A continuación detallamos distintos tipos de capacitores y sus características:

♦ **Capacitor electrolítico de aluminio:** tiene una performance en frecuencia pobre, su uso está dado casi siempre en frecuencias del orden de los 50KHz para abajo, tienen un costo muy bajo, una gran capacidad y un rango de tensión amplio. Generalmente se usan como filtros de bypass en la entrada.

♦ **OS-CON:** fueron creados por Sanyo, son una mejora del capacitor electrolítico con un dieléctrico de polímero, su aspecto es similar, tienen muy baja ESR y buena respuesta en frecuencia pero su limitante es el rango de tensión. Se extiende hasta los 35V.



Figura 26 - Capacitores Electrolíticos de Aluminio (DigiKey)



Figura 27 - Capacitores Electrolíticos OS-CON (DigiKey)

◆ **Cerámicos:**son los peores en relación de tamaño y capacidad, pero tienen la más baja impedancia, incluso en frecuencias de 500KHz.

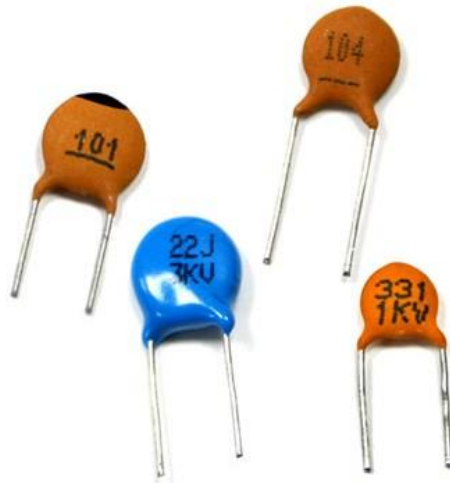


Figura 28 - Capacitores Cerámicos (DigiKey)

♦ **Capacitor de tantalio:** pueden reemplazar a los electrolíticos en muchas veces, tienen una menor impedancia, tamaño y menores pérdidas en frecuencia. Tiene su limitante en la tensión de trabajo ya que como máximo se construyen hasta 50v, siendo más comunes en usos de hasta 25V. Su costo es elevado.



Figura 29 - Capacitores de Tantalio (DigiKey)



Figura 30 - Capacitores SMD (Cerámico, Tantalio, Electrolítico) (DigiKey)

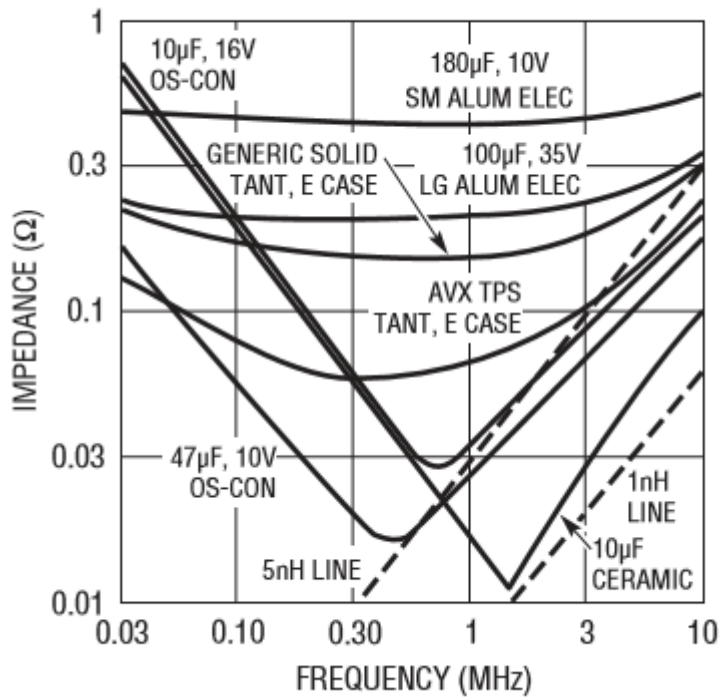


Figura 31 - Capacitores y Frecuencias (Device)

En la imagen anterior se observa un gráfico comparativo de distintos tipos de capacitores y sus curvas de impedancia en función de la frecuencia.

## 2.1.9 - Distintos tipos de inductores y sus características para los convertidores de continua.

### Solenoides



*Figura 32 - Con núcleo de aire (DigiKey)*



*Figura 33 - Con núcleo de ferrita (DigiKey)*

Valores típicos: 1nH a 15mH

Aplicaciones: generales, filtros, convertidores DC/DC

## Toroides

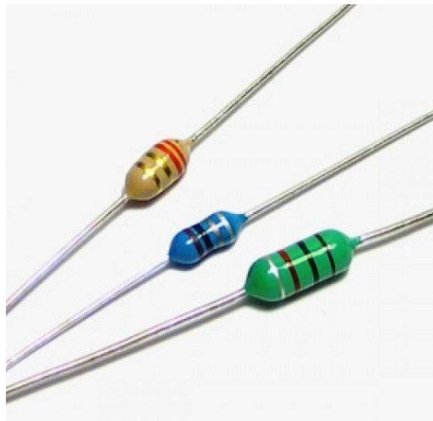


*Figura 34 - Inductores tipo Toroides (DigiKey)*

Valores típicos: 1uH a 30mH

Aplicaciones: filtrar transitorios.

## Encapsulados o moldeados



*Figura 35 - Inductores Encapsulados (DigiKey)*

Valores típicos: 0.1uH a 1mH

Aplicaciones: osciladores y choques de RF en corrientes continuas de baja potencia.

### **Chips**

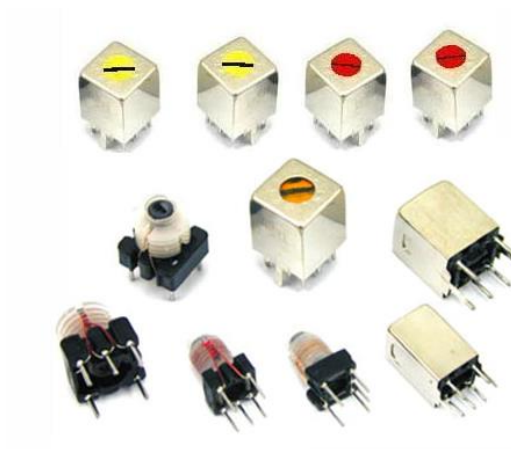


*Figura 36 - Inductores Chips (DigiKey)*

Valores típicos: 1nH a 1m

Aplicaciones: aplicaciones generales

### **Ajustables**



*Figura 37 - Inductores Ajustables (DigiKey)*

Valores típicos: 1nH a 7mH

Aplicaciones: osciladores y circuitos de RF como transmisores y receptores



## **Tipos de núcleos**

♦ Núcleo de aire: el devanado se realiza sobre un soporte de material no magnético como puede ser la fibra o el plástico. Hay casos en los cuales no se utiliza soporte, entonces la bobina queda conformada sólo debido a la rigidez mecánica del conductor.

♦ Núcleo de hierro: como tiene mayor permeabilidad que el aire (10 a 100), aumenta el valor de la inductancia. Sin embargo, sólo se implementa en aplicaciones de bajas frecuencias porque a altas frecuencias las pérdidas son elevadas. Aplicaciones: fuentes de alimentación y amplificadores de audio.

♦ Núcleo de ferrita: las ferritas son óxidos de metales magnéticos, de alta permeabilidad (10 a 10000) que además son dieléctricos. Existe una gran variedad en el mercado en función de la frecuencia de trabajo.

♦ Inductores para Altas Frecuencias: de reducido tamaño y número de espiras

♦ Inductores para Bajas Frecuencias: de mayor tamaño y número de espiras

Si bien los inductores tienen la posibilidad de fabricarse manualmente, cuando el diseño de un convertidor de DC/DC tiene una formalidad mayor en cuanto a minimizar pérdidas y radiaciones electromagnéticas, se seleccionan por características específicas encontradas en sus hojas de datos. A continuación haremos una revisión de los parámetros a considerar:

♦ Inductancia (L): es el parámetro principal que permite la función deseada y en su mayoría es el primero en calcularse en los procedimientos de diseño. Éste se calcula para proporcionar una cantidad mínima de almacenamiento de energía (o capacidad de voltios-microsegundos) y para

reducir la ondulación de corriente de salida (Ripple de corriente). El uso de una inductancia de menor valor a la calculada causaría un aumento de la ondulación de corriente alterna en la salida de DC. Si el valor es mucho mayor o mucho menor al calculado puede obligar al convertidor a cambiar entre los modos de funcionamiento continuo y discontinuo.

♦ Tolerancia: afortunadamente, la mayoría de las aplicaciones de convertidores DC-DC no requieren inductores de tolerancia extremadamente estrictos para lograr sus objetivos. Es rentable elegir componentes de tolerancia estándar. La más común es del 20% y se adapta muy bien a la mayoría de los convertidores.

♦ Condición de Prueba (Test Condition):

-Voltaje: la clasificación del valor de inductancia debe tener en cuenta la frecuencia aplicada y la tensión de prueba. En el catálogo se observan "pequeñas" tensiones sinusoidales; siendo así la forma más fácil y adecuada que tiene el proveedor para indicar el valor de inductancia correspondiente a distintas aplicaciones.

-Forma de onda (Wave Shape): generalmente el uso de voltaje sinusoidal es una condición de prueba de instrumentación estándar que usualmente sirve bastante bien para asegurar que el valor de inductancia calculado a partir de las ecuaciones de diseño es el correcto.

-Frecuencia de prueba (Test Frequency): la mayoría de los inductores de potencia no varían dramáticamente entre 20 kHz y 500 kHz, por lo que una clasificación basada en 100 kHz es bastante utilizada y adecuada. Debe recordarse que la inductancia eventualmente disminuye a medida que aumenta la frecuencia. Esto puede ser debido a la característica de arrastre de frecuencia del material de núcleo utilizado o también a la auto resonancia de la inductancia de

devanado que resuena con su capacitancia. Como la mayoría de los convertidores operan en el rango de 50 kHz a 500 kHz, 100 kHz ha sido una frecuencia de prueba estándar adecuada.

Cuando las frecuencias de conmutación aumentan a 500 kHz, 1 MHz o superiores, será importante considerar las clasificaciones basadas en la frecuencia real de la aplicación.

### 2.1.10 - Resistencia

♦ Resistencia DC (DCR): es simplemente una medida del cable utilizado en el inductor. Se basa estrictamente en el diámetro y la longitud del alambre. Ésta varía con la temperatura de la misma manera que la resistividad del material de bobinado el cual es típicamente cobre. Es importante que la clasificación DCR tome nota de la temperatura de la prueba ambiental. El coeficiente de temperatura de resistencia para el cobre es de aproximadamente + 0,4% por grado °C. Por lo tanto, la parte mostrada con un valor nominal de 0,009 Ω máximo tendría que tener una clasificación correspondiente de 0,011 Ω máx a 85 ° C, sólo una diferencia de 2 mΩ en este caso, pero un cambio total de alrededor del 25%. La DCR esperada frente a la temperatura se muestra en la siguiente figura:

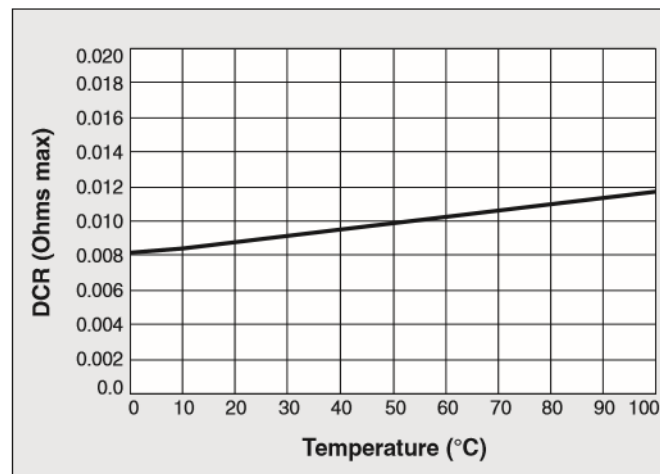


Figura 38 - DCR en función de la Temperatura. (Coilcraft, 2005)

♦ Resistencia AC: este es un parámetro que no se muestra comúnmente en las hojas de datos del inductor y no es típicamente un problema a menos que la frecuencia de operación o el componente de corriente alterna de la corriente sea grande con respecto al componente de DC. La resistencia de la mayoría de los devanados del inductor aumenta con la frecuencia de funcionamiento debido al efecto “Skin”. Si la ondulación es relativamente pequeña con respecto a la corriente media, entonces la DCR da una buena medida de la pérdida resistiva que se espera. El efecto de la piel varía con el diámetro del alambre y la frecuencia, por lo que incluir estos datos requeriría una curva de frecuencia completa para cada inductor listado en un catálogo. Esto no es necesario para la mayoría de las aplicaciones que trabajan por debajo de 500 kHz.

Típicamente para reducir el DCR significa tener que utilizar alambre más grueso y probablemente un tamaño total más grande. Por lo tanto, optimizar la selección de DCR significa una compensación de la eficiencia energética, caída de tensión permisible a través del componente y mayor tamaño del componente.

♦ Frecuencia de Auto-Resonancia (Self Resonant Frequency - SRF): cada devanado del inductor tiene alguna capacitancia distribuida asociada que, junto con la inductancia, forma un circuito tanque resonante paralelo con una frecuencia natural auto-resonante. Para la mayoría de los convertidores es mejor operar los inductores a frecuencias muy por debajo del SRF.

♦ Corriente nominal: la clasificación de corriente es tal vez la que causa la mayor dificultad al especificar un inductor de potencia. La corriente a través del inductor de un convertidor DC-DC está siempre cambiando a lo largo del ciclo de conmutación y durante ciclo a ciclo dependiendo de la operación del mismo, incluyendo transitorios o picos temporales debido a cambios abruptos

de carga o línea. Esto da un valor actual que cambia constantemente con una proporción pico-a-media muy alta en ocasiones. Es ésta relación entre la corriente de pico y la corriente promedio que dificulta la especificación. Si se toma la corriente pico instantánea más alta posible y se busca un inductor con esta "clasificación de corriente", es probable que este sea excesivo para la aplicación, sin embargo, si uno busca una clasificación actual para la corriente promedio, puede que este no funcione de forma correcta al pasar la corriente de pico. La forma de abordar este problema es buscar un inductor que tenga dos clasificaciones, una para hacer frente a la posible saturación del núcleo de la corriente de pico y otra para abordar el calentamiento que puede ocurrir debido a la corriente promedio.

♦ Corriente de Saturación (Saturation Current): un efecto de la corriente a través de un inductor es la saturación del núcleo. Frecuentemente los convertidores DC - DC tienen formas de onda rizada con un componente de DC. La corriente continua a través de un inductor polariza el núcleo y puede causar que se saturen con el flujo magnético. El diseñador necesita entender que cuando esto ocurre la inductancia cae y el componente ya no funciona como un inductor. La figura de abajo muestra una curva típica de  $L$  frente a la corriente para un núcleo de ferrita interrumpido. Se puede ver que esta curva tiene una "rodilla" cuando el inductor se mueve hacia la región de saturación. La definición de dónde comienza la saturación es, por tanto, algo arbitraria y se define en el punto en el que la inductancia disminuye un 10%. Definiciones en el rango de 10-20% son comunes, pero hay que señalar que algunos catálogos de inductores pueden utilizar cifras de 50% de caída. Esto aumenta la clasificación actual, pero puede ser engañosa en lo que respecta al rango de corriente útil.

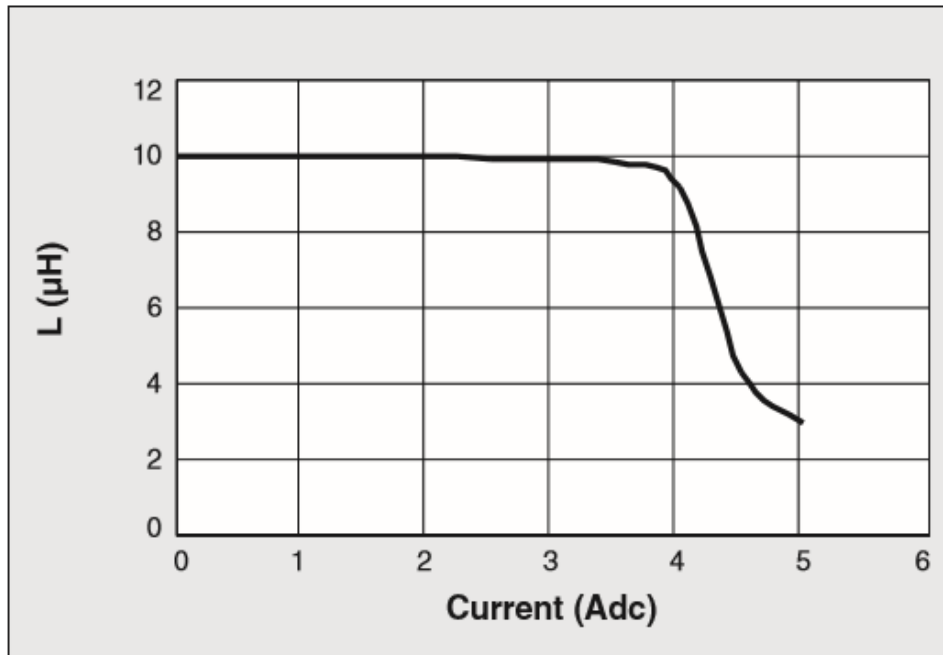


Figura 39 - Inductancia vs Corriente de Polarización. (Coilcraft, 2005)

La saturación del núcleo del inductor se puede observar a menudo directamente en la forma de onda de la corriente del convertidor donde  $di/dt$  es inversamente proporcional a la inductancia. A medida que la inductancia disminuye debido a la saturación del núcleo, la pendiente actual aumenta rápidamente. Esto puede causar ruido y daños a otros componentes.

Sin embargo, si el inductor funciona con corrientes que apenas exceden ligeramente la intensidad de saturación, el problema puede no ser tan dramático. En muchos casos, es aceptable un ligero aumento de la pendiente de la forma de onda rizada. A pesar de los peligros potenciales, es típicamente deseable operar con picos de corriente próximos a la clasificación de saturación porque esto permite elegir el inductor más pequeño posible. Aumentar la intensidad de saturación normalmente significa usar un componente de mayor tamaño o seleccionar un valor de inductancia menor en el mismo tamaño.

En la siguiente figura se puede observar las formas de onda de la corriente del inductor en un núcleo saturado y debajo de la de un núcleo sin saturar.

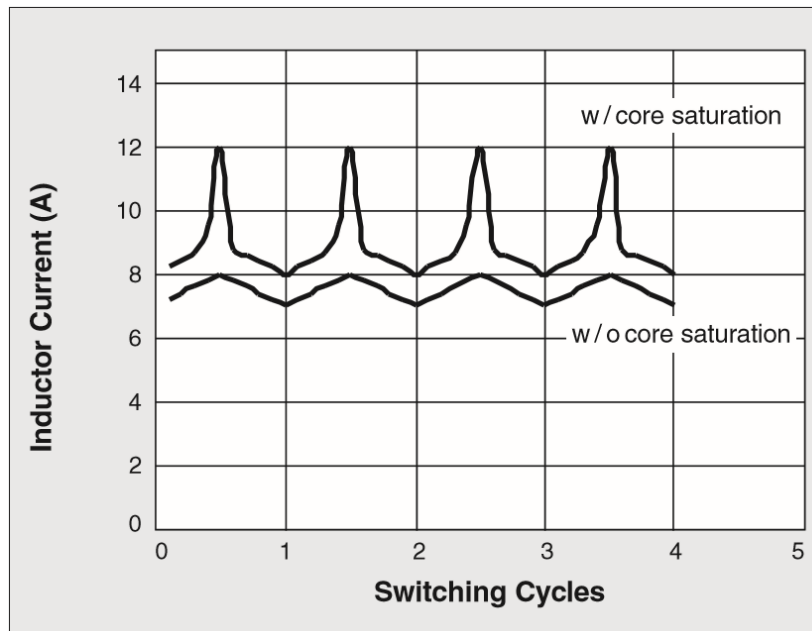


Figura 40 - Forma de onda de inductores con y sin saturación de núcleo (Coilcraft, 2005)

♦ Corriente RMS: se usa para dar una medida de cuánto corriente media puede fluir continuamente a través de la pieza mientras produce menos que un aumento de temperatura especificado. En este caso, las hojas de datos proporcionan casi siempre una clasificación basada en la aplicación de DC o CA de baja frecuencia, por lo que no incluye el calentamiento que puede producirse debido al efecto piel como se mencionó anteriormente u otros efectos de alta frecuencia. La clasificación actual se puede mostrar para un único punto de aumento de temperatura como en el ejemplo, o algunos proveedores proporcionan gráficos útiles de aumento de temperatura frente a la corriente o factores que se pueden utilizar para calcular el aumento de temperatura para cualquier corriente.

La clasificación de Irms debe incluir la temperatura ambiente a la que se midió. Normalmente, una especificación del inductor incluye un rango de temperatura de

funcionamiento. Este es el intervalo de temperatura ambiente dentro del cual se espera que el inductor se use. El aumento de temperatura debido al auto calentamiento puede hacer que el inductor esté a una temperatura más alta que la gama nominal. Esto es normalmente aceptable siempre y cuando no se excedan las clasificaciones de aislamiento. La mayoría de los inductores utilizan actualmente al menos 130 °C o 150 °C de aislamiento.

Al igual que con otros parámetros, es importante conocer el aumento de temperatura del inductor, por lo que se puede intercambiar con otros parámetros al hacer elecciones de diseño. Si se desea un aumento de temperatura más bajo es probable que un componente de mayor tamaño sea la respuesta.

A continuación se observan tablas extraídas de hojas de datos de inductores donde se encuentran los parámetros anteriormente mencionados.

<b>SELECTION GUIDE</b>				
Order Code	Inductance, L	DC Current <sup>2</sup>	SRF	DC Resistance
	0.1V@100KHz (±15%)	Max.	Typ.	Max.
	µH	A	MHz	mΩ
<b>60B473C</b>	47	10.5	7.45	13
<b>60B683C</b>	68	9.0	6.07	17
<b>60B104C</b>	100	7.5	4.98	25
<b>60B154C</b>	150	6.0	3.90	38
<b>60B224C</b>	220	5.0	3.21	50
<b>60B334C</b>	330	4.0	2.66	80
<b>60B474C</b>	470	3.5	2.15	100
<b>60B684C</b>	680	3.0	1.59	135

Figura 41 - Características de Inductores (Coilcraft, 2005)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS	
Operating free air temperature range	-40°C to 85°C
Storage temperature range	-40°C to 125°C

Figura 42 - Rango de Temperatura (Coilcraft, 2005)

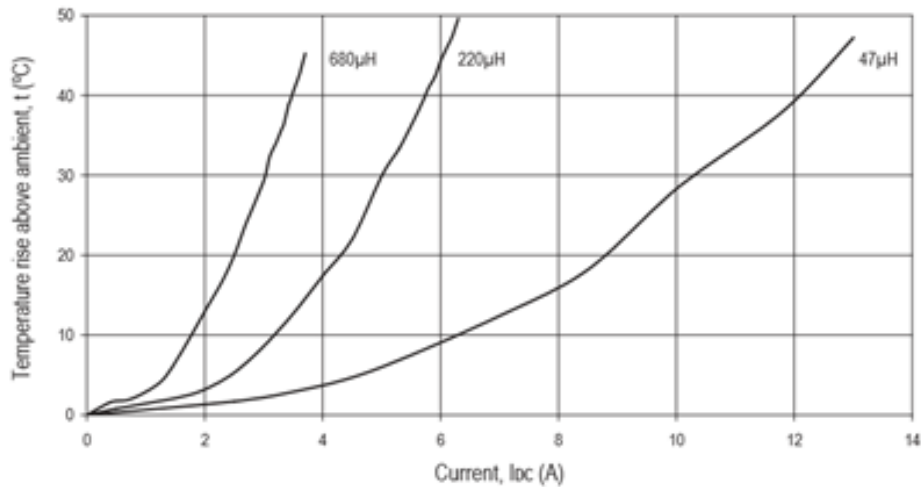


Figura 43 - Temperatura en función de la Corriente (Coilcraft, 2005)

Electrical Specifications @ 25°C - Operating Temperature -40°C to +125°C						
Part Number	Inductance 100KHz, 1V µH	Rated Current A	DC Resistance		Saturation Current Max. A	Mechanical
			MAX. mΩ	TYP. mΩ		
PA4343.472NLT	4.70±20%	13.5	8.4	7.0	28.0	Footprint 2
PA4343.562NLT	5.60±20%	12.5	10.0	8.5	23.0	Footprint 2
PA4343.682NLT	6.80±20%	11.5	11.5	9.5	18.0	Footprint 2
PA4343.822NLT	8.20±20%	10.5	15.5	12.0	15.5	Footprint 2
PA4343.103NLT	10.0±20%	10.0	16.5	13.2	15.5	Footprint 2
PA4343.133NLT	13.0±20%	9.0	24.0	21.0	13.0	Footprint 2
PA4343.153NLT	15.0±20%	9.0	28.0	23.2	12.5	Footprint 2
PA4343.223NLT	22.0±20%	9.0	37.0	32.5	12.0	Footprint 2
PA4343.333NLT	33.0±20%	8.0	58.0	48.0	11.0	Footprint 2
PA4343.473NLT	47.0±20%	6.5	90.0	76.0	9.5	Footprint 2

Figura 44 - Características de Inductores 2 (Coilcraft, 2005)



Figura 45 - Inductor de E-Core con alambre plano (Coilcraft, 2005)



Figura 46 - - Inductor con núcleo de ferrita (Coilcraft, 2005)

## 2.2 - Cálculos y consideraciones prácticas.

Al momento del diseño e implementación práctica, se deben realizar cálculos y consideraciones para elegir los componentes más importantes del dispositivo. Utilizando el software Matlab y las formulas anteriormente mencionadas obtuvimos los siguientes resultados.

### 2.2.1 - Calculo para el cargador de baterías (Regulador reductor).

A partir de los siguientes datos se efectuaron los cálculos:

$$V_{out}=14;$$

$$I_{outmax}=6;$$

$$f_s=125000;$$

$$V_{imin}=14;$$

$$V_i=18;$$

$$V_{imax}=22;$$

$$V_{rip}=0.5;$$

$$LIR=0.3; \text{ \%este valor se recomienda entre un 0.2 y 0.4}$$

$$I_{rip}=LIR \cdot I_{outmax};$$

$$n=0.9;$$

El valor de L critico es 30.73 [uH]

El valor de C1 critico es 3.60 [uF]

### 2.2.2 - Cálculo para el driver de LED.

A partir de los siguientes datos se efectuaron los cálculos:

$$V_{out}=32 \quad ;$$

$$I_{outmax}=2;$$

$$f_s=125000;$$

$$V_{min}=11;$$

$$V_i=12.7;$$

$$V_{max}=14;$$

$$V_{rip}=0.25;$$

$$n=0.9;$$

$$A_{IL}=0.3 \cdot I_{outmax} \cdot (V_{out}/V_i);$$

El valor de L crítico es 40.53 [uH]

El valor de C mínimo es 22.1 [uF]

Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos para los componentes del filtro en ambos convertidores son similares, decidimos usar un mismo valor de inductor y capacitor.

Buscando en catálogos de proveedores de componentes conseguimos el siguiente inductor:

### **Inductor**

Código: **60B473C**

$L = 47.00$  [uH]

$I_{max} (DC) = 10.5$  [A]

$SRF = 7.45$  [MHz]

$R_{max} = 13$  [m $\Omega$ ]

Un factor importante en la elección de la bobina fue que soportara la corriente de continua y de allí, la opción más económica.

### **Capacitores**

Se debía optar por los del tipo cerámico ya que tienen menos problemas en frecuencia y conmutación. A medida que crece su valor crece su precio; por cuestiones económicas y diseño se consideró utilizar 12 capacitores en paralelo de 4.7 [uF] para llegar al valor requerido. Con esta disposición tenemos la ventaja también de reducir la ESR (resistencia serie equivalente).

Otro componente crítico en estos diseños son los transistores MOSFET. La elección de los mismos se basó en tensión que soportan, corriente, RDS, el encapsulado y precio. Se utilizó el **IRFR350ZPbf** con  $V_{dss} = 40V$ ,  $R_{ds} = 0.9$  [m $\Omega$ ] e  $I_d = 42$  [A] (suelen ser de mucha corriente).

Para el driver de LED se debió utilizar un diodo Schottky como diodo de marcha libre, estos son muy buenos en conmutación, soportan mucha corriente y tienen poca caída de tensión. En nuestro caso particular elegimos el diodo **VSSC8L45-M3** los cuales a 150 °C soportan 8 [A],

tiene una tensión inversa de conmutación de 45[V] y una caída de 0.25[V] (elección por relación precio/prestaciones).

Se pensó en utilizar las últimas tecnologías que estén a nuestro alcance con un diseño de placa que no requiera disipador; por tal motivo la mayoría de los componentes se eligieron para que tengan pocas pérdidas y de montaje superficial para disipar su potencia en el mismo PCB. Una vez pre seleccionado todos los posibles componentes a utilizar se terminó definiendo por el menor precio encontrando un equilibrio entre calidad y costo.

### 2.2.3 - Bloque 1 – Cargador de Baterías (Práctico)

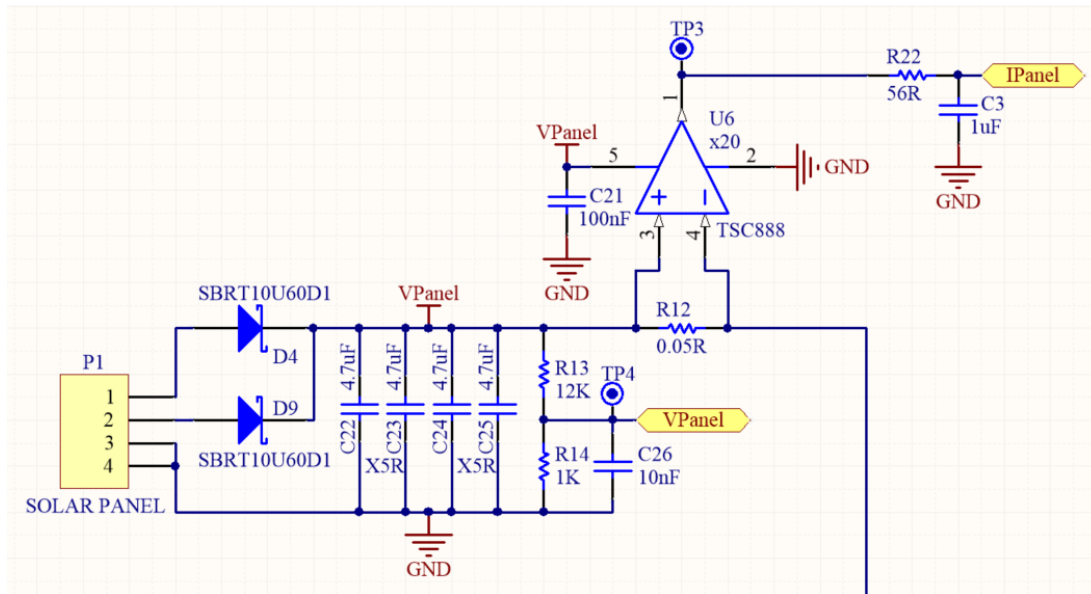


Figura 47 - Circuito de entrada

Esta etapa del circuito corresponde a la entrada de tensión mediante la cual se cargará la batería conformada por un conector de 4 terminales. El terminal 1 y 2 corresponden a las entradas del panel solar y de una fuente de tensión continua auxiliar para una carga desde la red eléctrica. El terminal 3 y 4 es para la conexión a masa o GND.

Los diodos cumplen la función de proteger contra inversión de polaridad y de aislar las 2 fuentes en caso de que estén activas al mismo tiempo. La fuente que proveerá corriente será la que mayor tensión tenga por la polarización de los diodos. Ésta “protección” quita eficiencia al sistema, ya que hay una pérdida de potencia dada por la caída de tensión del diodo ( $V_F$ ) y la corriente que esté circulando por él ( $I_F$ ). Existe la posibilidad de anular estos diodos mediante un puente si se tiene la certeza de que no habrá fuente externa o que ésta se prenderá solo cuando el panel no esté generando tensión ni corriente.

Los capacitores corresponden a un pequeño filtro de entrada y el divisor resistivo por R13 y R14 dará una proporción constante menor de la tensión de entrada dentro del rango aceptable para el microcontrolador mediante la siguiente fórmula:

*Ecuación 44 – Divisor TP4*

$$V_{TP4} = V_{Panel} * \left(\frac{1}{1 + 12}\right)$$

Por último se tiene una medición de corriente mediante una resistencia SHUNT de muy bajo valor para minimizar pérdidas, amplificar esta caída de tensión con un integrado dedicado y así tener una señal de tensión proporcional a la corriente de entrada a nuestro circuito mediante la siguiente fórmula:

*Ecuación 45- Amplificador TP3*

$$V_{TP3} = I_i * 0,05 * 20 = I_i[V]$$

La corriente de entrada no será continua, sino que será una señal con un ripple de corriente igual al de la bobina del circuito de conmutación. Por eso, para poder medir el valor continuo de corriente, se filtra esta señal triangular con un filtro pasa bajo conformado por R22 y C3.



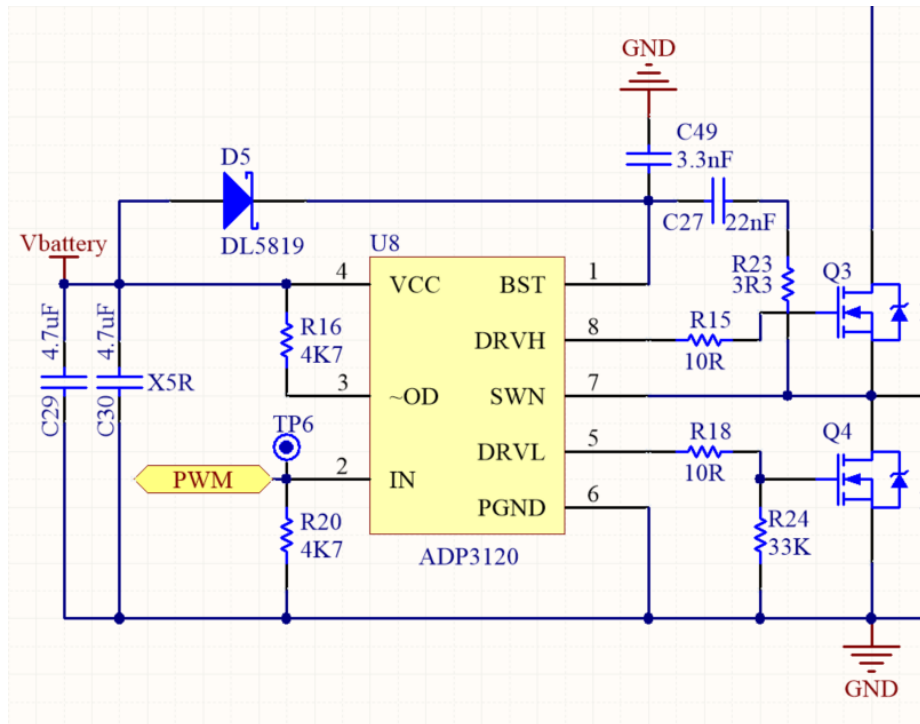


Figura 48 - Circuito de excitación

Esta etapa corresponde al circuito de excitación de los Mosfets Q3 y Q4 mediante un integrado dedicado para esta configuración en específico. Este circuito tiene la particularidad de utilizar 2 mosfets canal N, lo cual para excitar Q3 se necesita una tensión en el gate que tiene que ser mayor a la del punto del surtidor, la cual es una tensión flotante. El integrado genera esta tensión con D5, C27, C49 y R23, y se denomina circuito “BootStrapp”. Otra particularidad es que en ningún momento se debe permitir que se activen ambos mosfets, por lo que el integrado contiene una lógica de protección interna censando el punto de unión o nodo mediante el pin 7. Por último otra ventaja que contiene este integrado además de garantizar una correcta activación de los gate a modo de minimizar pérdidas y en modo seguro, es que genera las 2 señales de PWM de los mosfets a partir de una única señal de control PWM.

Las resistencias R15 y R18 limitan la corriente de carga de las compuertas de los mosfets atenuando el gran pico en las transiciones reduciendo el ruido eléctrico y electromagnético generado.

La resistencia R24 asegura una tensión de compuerta igual a 0, a modo de no activar accidentalmente el mosfet Q4 si el integrado se daña o se desconecta R18.

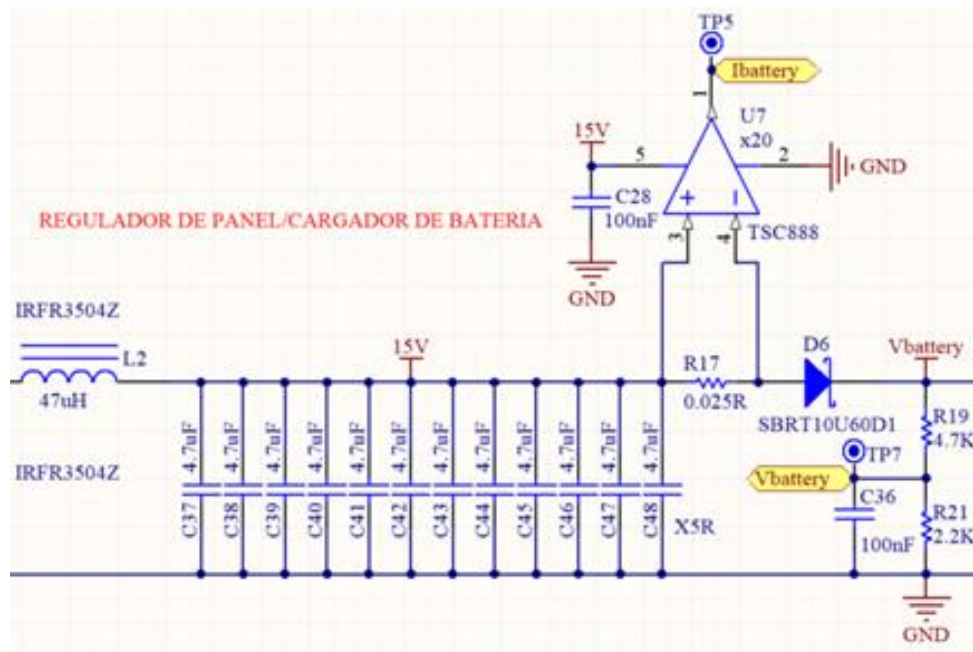


Figura 49 - Circuito LC

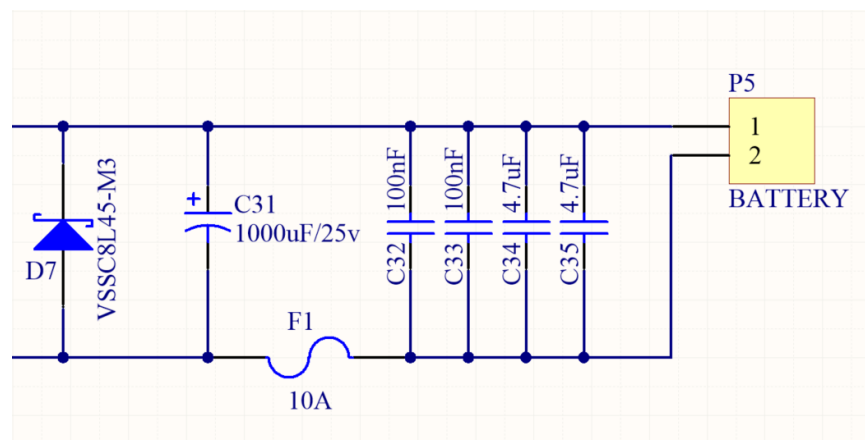
En esta etapa, se puede apreciar L2 y la capacidad de salida Co correspondiente a la suma de los capacitores C37 a C48. Estos conforman el filtro de salida de nuestro regulador reductor y sus valores se eligieron mediante las fórmulas de diseño para este tipo de convertidor de continua. Nuevamente se puede apreciar el circuito de medición de corriente por medio de resistencia SHUNT y el integrado dedicado para este fin.

El diodo D6 produce una aislación entre el circuito de carga de la batería y el resto. Por este solo circulará corriente cuando la tensión generada en la salida del convertidor sea mayor a la de la batería más la caída de tensión del mismo. En caso contrario, el circuito puede permanecer sin funcionamiento y la batería no tiene vinculación con el cargador.

Por último tenemos un divisor de tensión para medir indirectamente la tensión en la batería por medio de la siguiente fórmula:

*Ecuación 46 – Divisor TP7*

$$V_{TP7} = V_{battery} * \frac{2,2}{2,2 + 4,7}$$



*Figura 50 - Circuito de Salida*

Por último tenemos el circuito de salida que consta de un conector P5 en el cual se conecta la batería, un fusible F1 el cual actúa como protección contra sobre corriente y un diodo D7 que actúa como protección contra inversión de polaridad produciendo un cortocircuito y rompiendo el fusible.

### 2.2.4 - Bloque 2 – Driver de LED (Práctico)

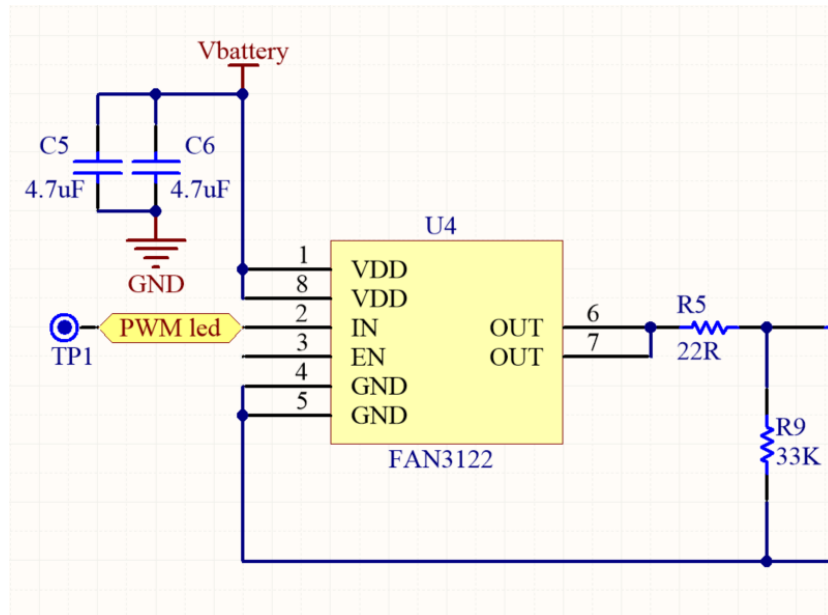


Figura 51 - Circuito de Excitación (Driver de LED)

Esta parte corresponde al circuito de excitación de compuerta usando un integrado dedicado para la conmutación correcta de mosfets. R5 corresponde a la resistencia limitadora de carga del gate y R9 a la polarización de masa de la compuerta si el integrado o R5 se dañaran o desconectarán, para así evitar que este se conmute accidentalmente ya que produciría un corto circuito en la batería.

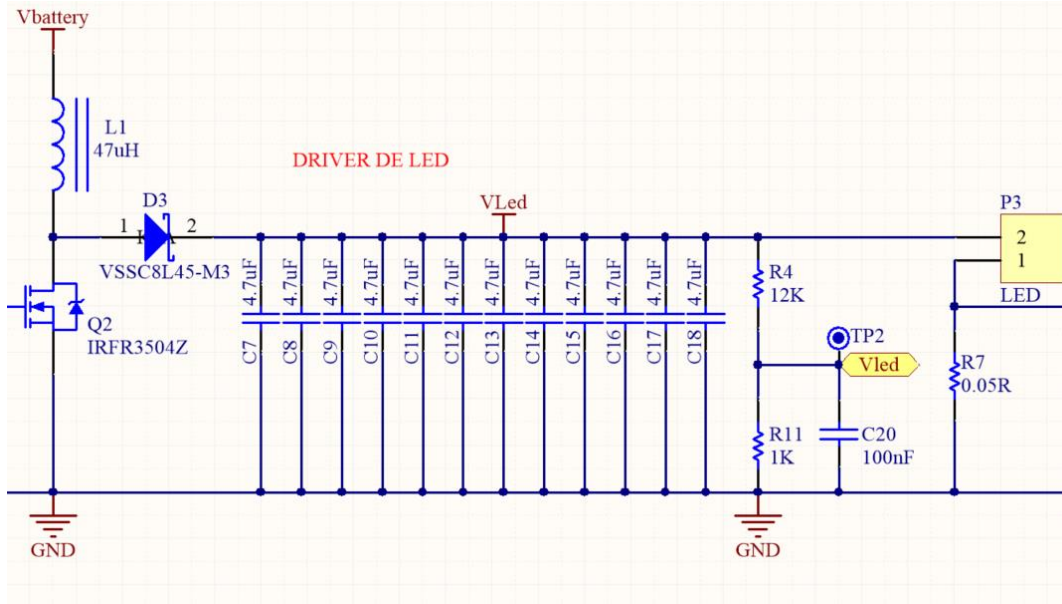


Figura 52 - Circuito LC Elevador

Este circuito es la clásica topología de circuito elevador de tensión de continua. El divisor resistivo es para medir la tensión de salida del circuito, es decir del LED, mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 47 – Divisor TP2

$$V_{TP2} = VLed * \frac{1}{1 + 12}$$

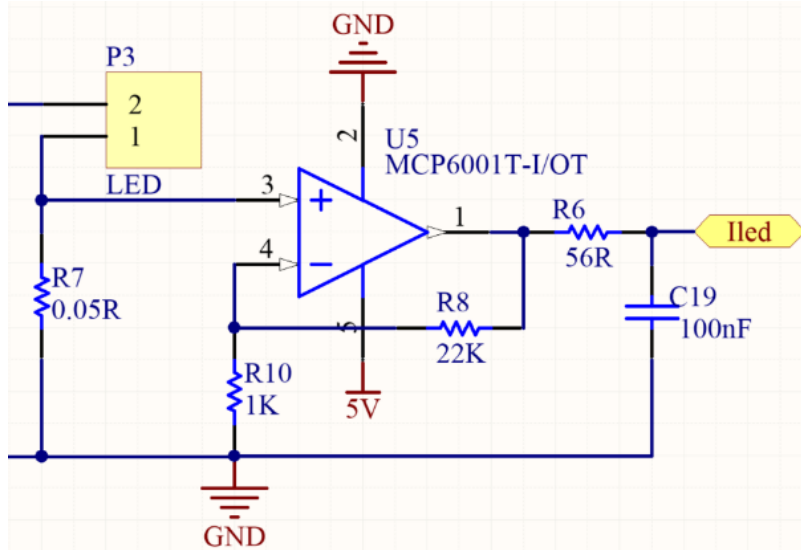


Figura 53 - Circuito de Salida

Por último en el conector P3 se conecta el LED, y en este caso se mide la corriente mediante la amplificación de la caída de tensión en la resistencia Shunt R7 con un típico circuito amplificador no inversor con operacionales. R6 y C19 conforman un pequeño filtro pasa bajos para eliminar componentes de ruido, y la tensión que leerá el micro para censar la corriente seguirá la siguiente fórmula:

Ecuación 48 – Amplificador R7

$$V_{Iled} = I_{led} * 0,05 * \left(1 + \frac{22}{1}\right)$$

### 2.2.5 - Bloque 3 – Circuito Lógico

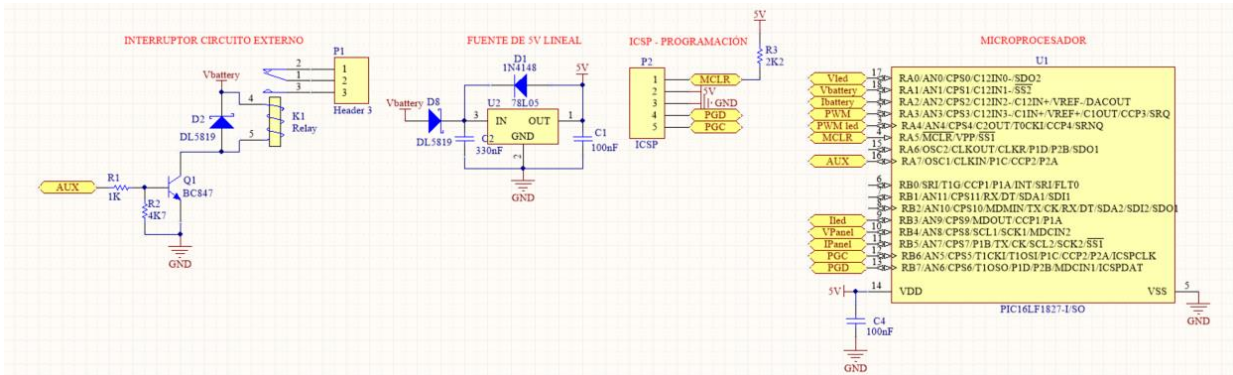


Figura 54 - Circuito Lógico

En este último bloque, se unen todas las demás etapas. El primer lugar el microcontrolador que es el encargado de ejecutar las rutinas de carga de batería, driver de LED y decisión entre día/noche entre otras.

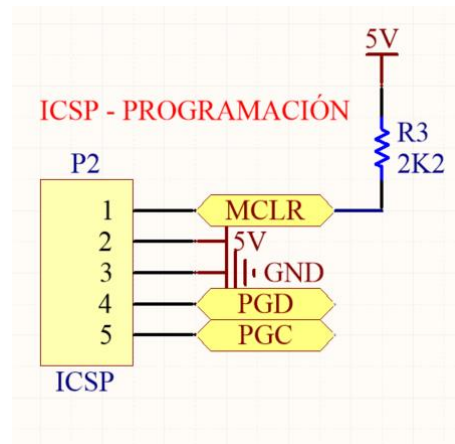


Figura 55 - Conector ICSP

El conector P2 es la conexión ICSP para la programación y debug del microcontrolador. También en uso normal, por este conector se tomarán las entradas provenientes de periféricos como sensor de movimiento y de temperatura.

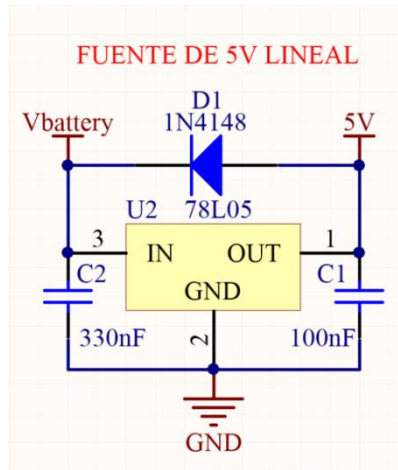


Figura 56 - Fuente de 5 [V]

Se genera la tensión de 5 [V] a partir de la batería y el regulador lineal de tensión 78L05.

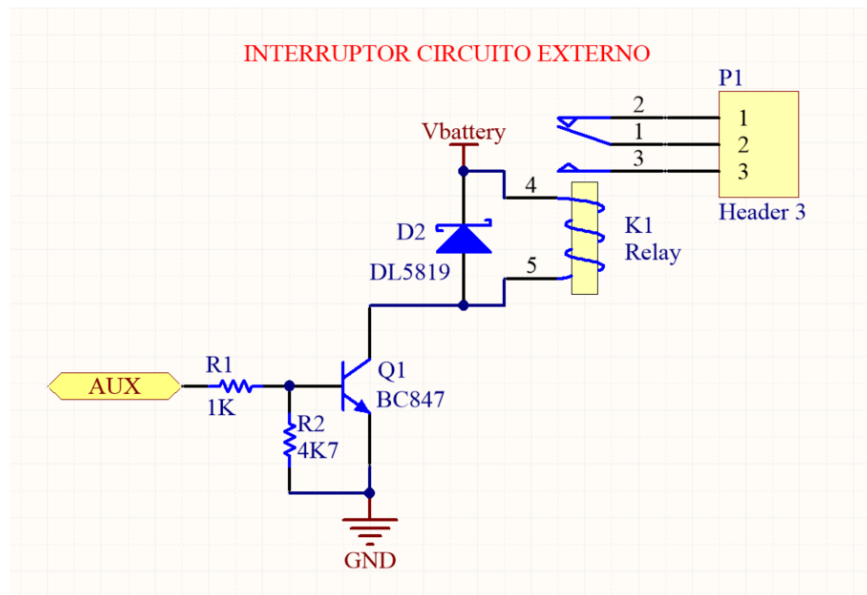


Figura 57 - Circuito de conmutación de alimentación



Por último se deja este circuito para la conmutación de cualquier circuito externo, como por ejemplo una fuente de alimentación continua.

### 2.2.6 - Bloque 4 – Circuito USB

Este circuito corresponde a un PCB anexo a la placa principal que se agregó para poder tener una comunicación mediante USB con una computadora.

El diseño de la siguiente imagen fue extraído de la hoja de datos del integrado FT232RL(FTDICHIP, 2015) de la marca FTDI, el cual es un chip dedicado a generar el protocolo necesario para una comunicación USB a serie.

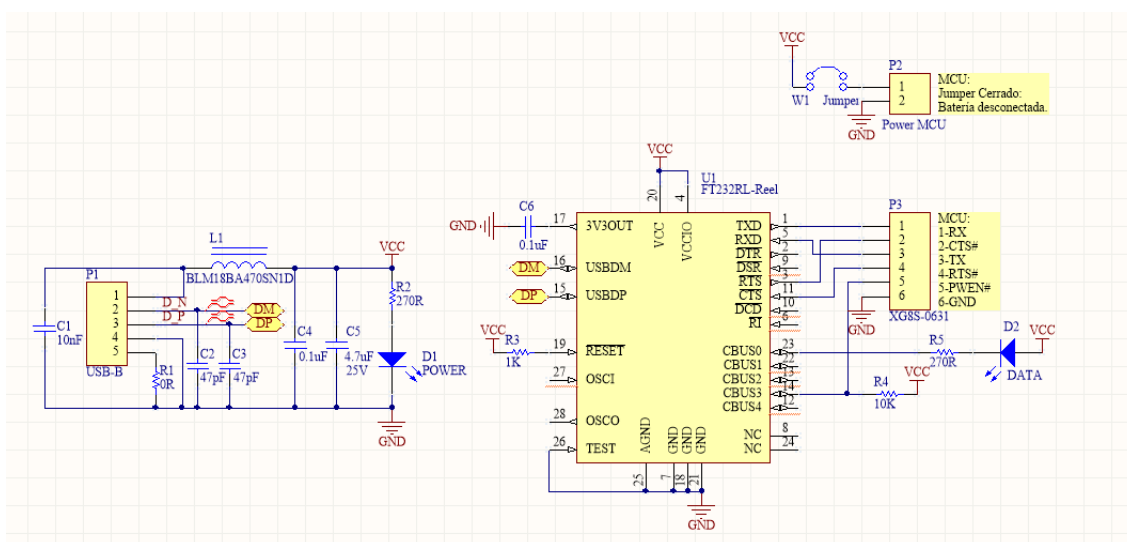


Figura 58 - Circuito de Comunicación

La placa cuenta con un conector USB-B, un LED para indicar alimentación, otro para indicar flujo de datos, un conector para vincular directamente al microprocesador de la placa principal, y otro conector con jumper para poder enviar la alimentación del USB si la placa se quiere configurar y ésta no está conectada a una batería.

Como consideración práctica al momento del diseño del PCB, se tuvo especial cuidado en las pistas de datos del USB, las cuales son un par diferencial y deben guardar el mismo largo e impedancia entre pistas en toda la placa.

Por último, para poder utilizarse, se necesita instalar el driver proporcionado por FTDI y luego al conectarse a la PC, se auto configura y genera un puerto COM para poder ser utilizado como cualquier otro dispositivo USB.

## 2.3 - Desarrollo del software

Para este proyecto se debió desarrollar un firmware para el microcontrolador el cual comanda el dispositivo, ejecutando una serie de rutinas como son la carga de la batería y el control del driver de LED, dependiendo de las condiciones del entorno detectadas por los distintos sensores. También se realizó una aplicación gráfica en la cual el usuario puede determinar los parámetros de los dispositivos que desea conectar al controlador.

A continuación se explicarán ambos software.

### 2.3.1 - Firmware de Placa

Para el desarrollo del mismo se utilizó el microcontrolador PIC16F1827(MICROCHIP TECHNOLOGY, 2011) y el entorno de programación MPLAB X utilizado en esta familia.

Para entender su código debemos tener en claro que existen dos estados posibles, uno es el DÍA donde funcionarán las rutinas del cargador de baterías y otra es la NOCHE donde funcionarán las del driver de LED. El sensor que determina esto, justamente es el panel solar. Mediante pruebas realizadas en amaneceres y puestas de sol se pudo comprobar que la tensión umbral es entre 14[V] a 15[V].

Si la tensión del panel es mayor a 15 [V] es de día.

Si la tensión del panel es menor a 14 [V] es de noche.

Se deja el umbral de histéresis de 1 [V] debido a que si nos encontramos con nubes en el momento en el cual se da alguna de estas transiciones, el equipo conmuta repetidas veces hasta estabilizarse.

El microcontrolador cuenta con una memoria EEPROM donde se encuentran cargados los parámetros de los dispositivos a conectar. Teniendo estas constantes comienza la ejecución del programa principal que es un bucle infinito donde se ejecutan las siguientes rutinas:

**LeerADC():** toma muestras de corriente y tensión a través de los pines analógicos designados al panel, la batería y el LED.

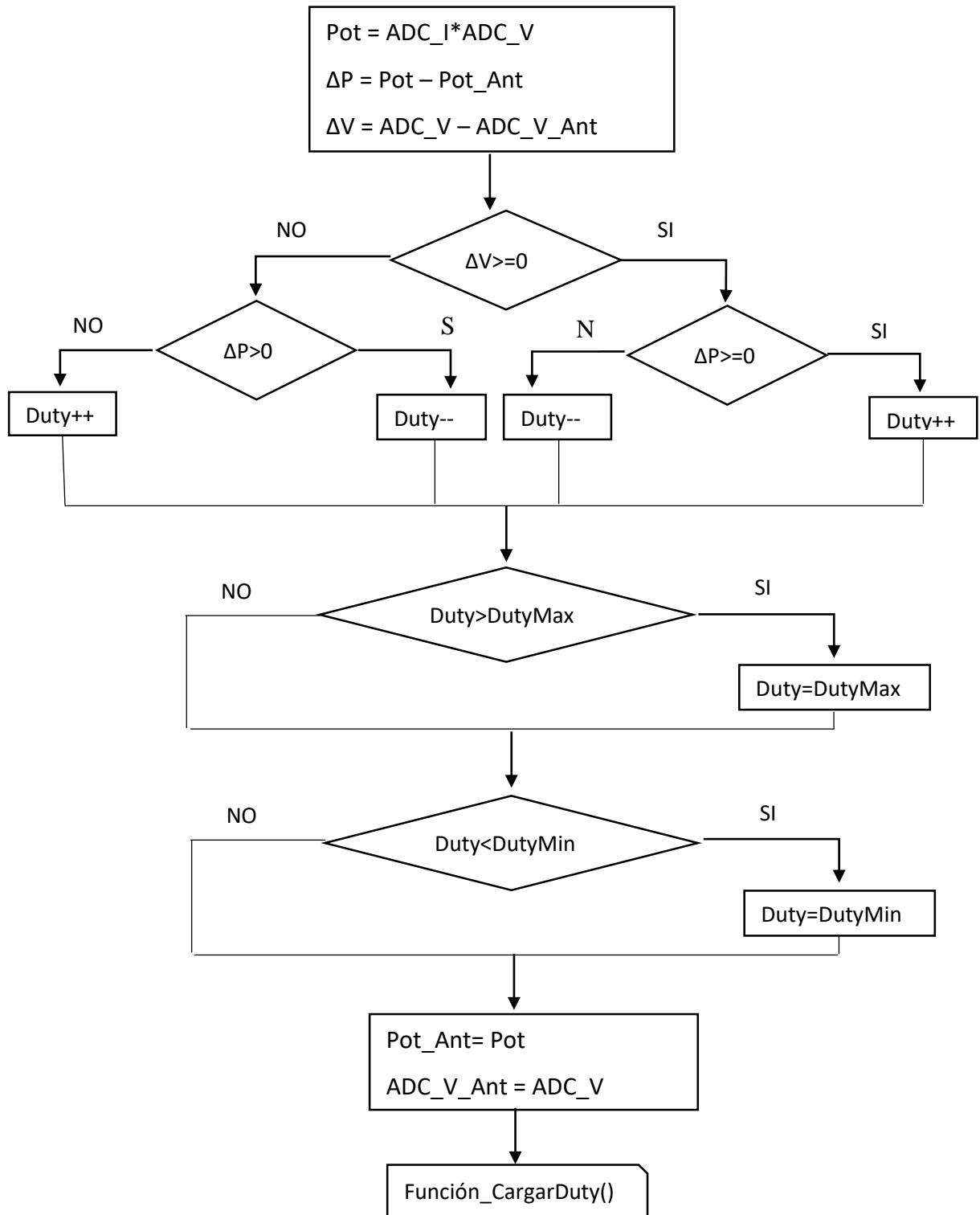
Se decide si es de día o de noche.

Dependiendo el estado en que se encuentre, se realiza la rutina correspondiente.

**ControlCargador():** DÍA.

**ControlDriverLED():** NOCHE.

Si es de DÍA la rutina a ejecutar es:



Las variables y constantes utilizadas en el diagrama de flujo son:

- Pot: potencia del panel.
- Pot\_Ant: potencia anterior del panel.
- ADC\_I: corriente del panel leída por el ADC.
- ADC\_V: tensión del panel leída por el ADC.
- ADC\_V\_Ant: tensión anterior del panel leída por el ADC.
- $\Delta P$  = variación de potencia.
- $\Delta V$  = variación de tensión.
- Duty: valor del ciclo de trabajo.
- DutyMin: valor del duty mínimo.
- DutyMax: valor del duty máximo.

La rutina anterior busca en todo momento encontrarse en el punto de mayor potencia del panel solar. Para esto comenzamos inicializando Pot\_Ant = 0 y ADC\_V\_Ant = 250 (valor mayor a la máxima tensión posible del panel). Esto nos ubica en la parte derecha de  $V_{pmax}$ , de la siguiente gráfica.

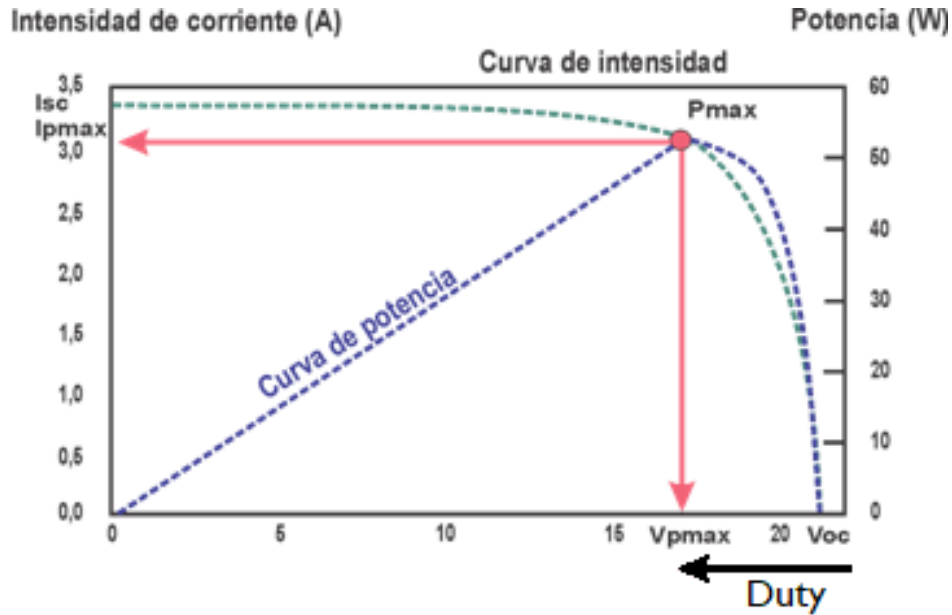
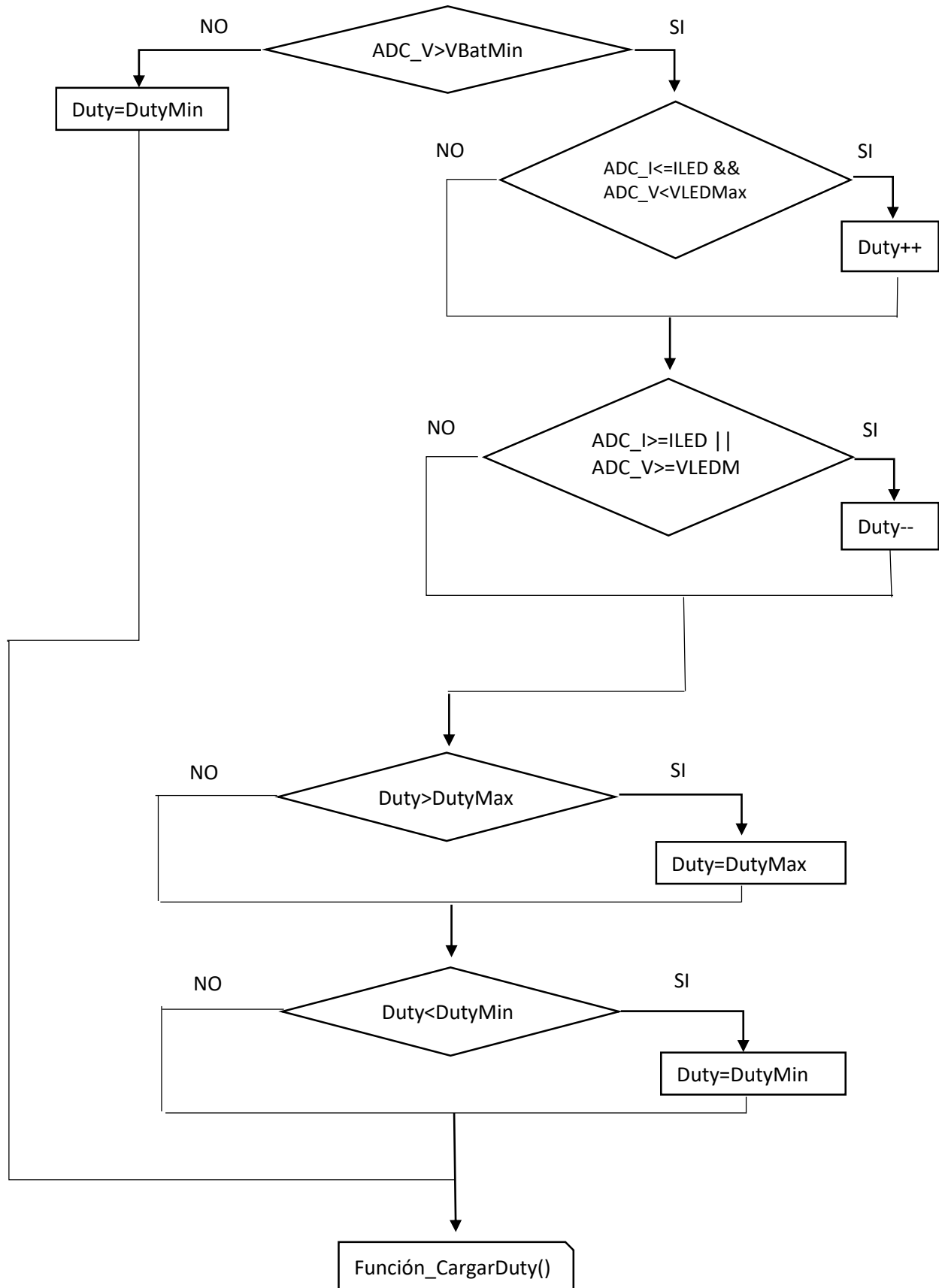


Figura 59 - Curva de Panel Solar (Eliseo Sebastian)

Una vez ubicados y los valores de los ADC cargados, comenzamos a aumentar el duty de manera tal que irá aumentando la potencia con una relación de aumento de corriente mucho mayor a la disminución de tensión hasta el punto Pmax.

En el próximo aumento del duty la potencia disminuirá, y la lógica del programa detectará que el punto de potencia máxima del panel está a la izquierda de Vpmax. Para corregir esto se debe disminuir el duty hasta llegar a Pmax. Con esta lógica se busca estar en dicho punto pero se logra que el sistema oscile alrededor del mismo.

Si es de NOCHE la rutina a ejecutar es:





Las variables y constantes utilizadas en el diagrama de flujo son:

- VBatMin: tensión mínima de batería.
- ADC\_V: tensión del panel leída por el ADC.
- ADC\_I: corriente del panel leída por el ADC.
- ILED = corriente nominal del LED.
- VLEDMax = tensión máxima del LED.
- Duty: valor del duty.
- DutyMin: valor del duty mínimo.
- DutyMax: valor del duty máximo.

La rutina anterior alimenta el LED mediante la batería siempre y cuando la tensión de la misma no sea menor que la mínima tensión posible (precargada anteriormente por el usuario mediante la aplicación de PC).

En la siguiente gráfica tenemos el funcionamiento del LED CXB3050.

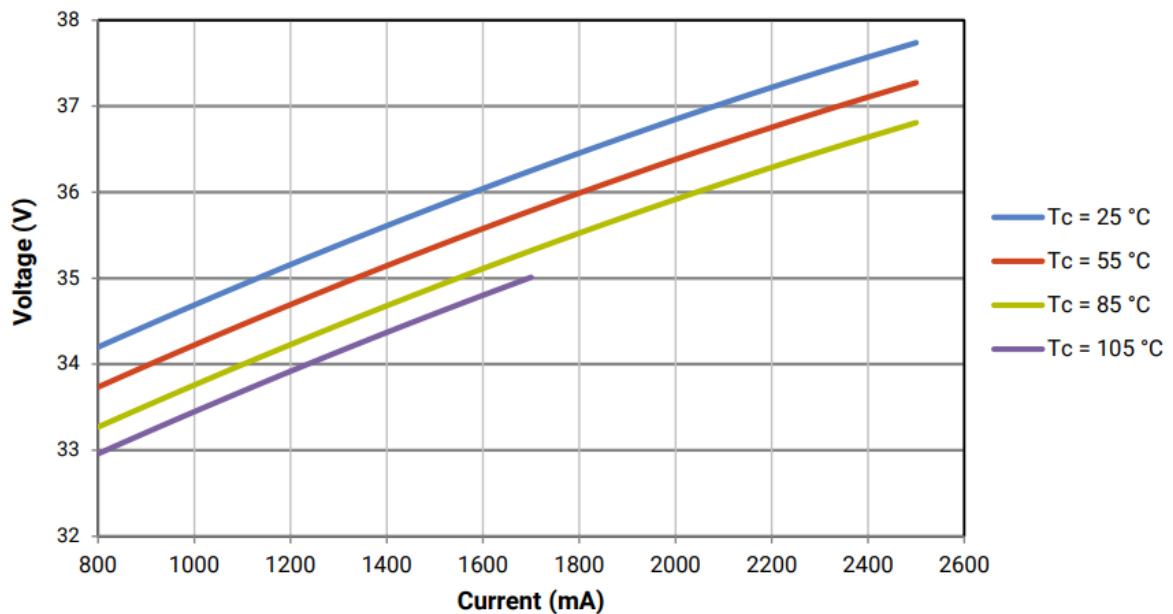


Figura 60 - Curva de LED (CXB3050)

Se puede observar que la relación tensión/corriente es casi lineal.

Si suponemos que la batería está cargada y contamos con un Duty inicial igual a DutyMin=1, la tensión y corriente del LED serán igual a cero y por ende menores a los parámetros del LED ( $I_{LED} = 1.4[A]$  y  $V_{LEDMax} = 37[V]$  a una temperatura de entre  $55^{\circ}C$  y  $85^{\circ}C$ ).

Por este motivo, el duty comienza a aumentar hasta el punto de funcionamiento óptimo del LED. Una vez alcanzado el valor queda establecido.

Gracias a un sensor de movimiento HC-SR501 y una interrupción determinamos el valor de  $I_{LED}$ . Si este detecta movimiento, se dispara la interrupción y el valor de la corriente nominal se pone al 100% del seteado por la aplicación. En cambio sí por cinco minutos no se detecta movimiento se dispara otra interrupción que pone el valor de la corriente a uno mucho menor (en nuestro caso al 30% de  $I_{LED}$ ). Con estas funciones se logra optimizar el consumo de energía de la batería.

También se cuenta con un sensor de temperatura relacionado con otra interrupción que permite controlar que el LED se mantenga dentro de los parámetros ya mencionados. Sabemos que la vida útil de los mismos depende mucho de su temperatura.

Al final de cada rutina se estableció controlar el duty mediante una comparación con DutyMax y DutyMin para protección de los dispositivos en caso de que se produjera algún error a la hora de la conexión y desconexión y este se dispare. Una vez controlado, el nuevo valor se carga mediante una función.

### 2.3.2 - Aplicación gráfica.

Esta aplicación se realizó en QT Creator v5.10 el cual es un entorno de desarrollo integrado multiplataforma realizado con el lenguaje de programación C++.

El propósito de la misma es elegir los dispositivos que se conectaran al controlador, así determinar los parámetros de funcionamiento. Estos serán determinados por el usuario y a través del puerto USB de la PC se cargaran en la memoria EPROM del microcontrolador.

Primero se comenzó con el diseño de la interfaz.

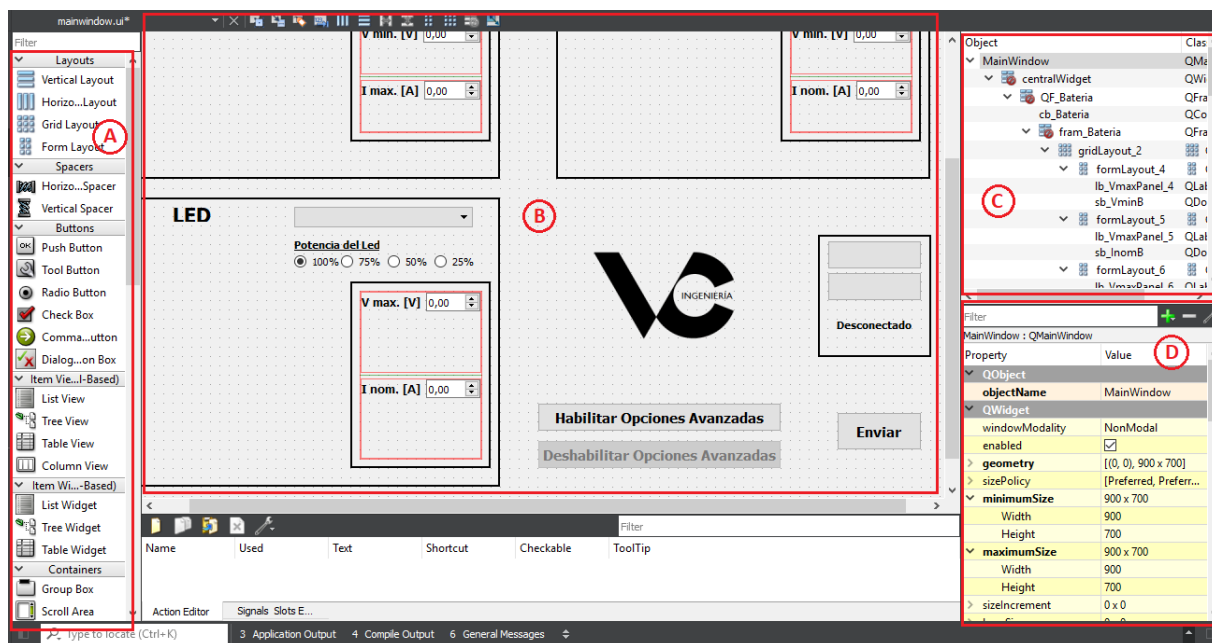


Figura 61 - Pantalla Principal de la interfaz gráfica.

En el punto A tenemos los “objetos”, estos constan de botones, listas desplegables, etiquetas, entre otros; que agregamos a la pantalla principal (punto B) para determinados fines. Por ejemplo, en nuestro caso tenemos un cuadro descriptivo por cada dispositivo con una lista desplegable para elegir el modelo. Por cada selección aparecerá una imagen y las características del mismo.

En la parte derecha de la pantalla se observa cómo se agrupan los distintos objetos (C), para trabajar de forma más ordenada, y los parámetros de cada uno (D), que se configuran según las necesidades.

Una vez creada la interfaz gráfica llamada `mainwindow.ui` y `puerto.ui` (otra ventana utilizada para la conexión del puerto serie), se debe crear el código para realizar las distintas acciones.

En la siguiente imagen se observa cómo se divide la estructura del programa.

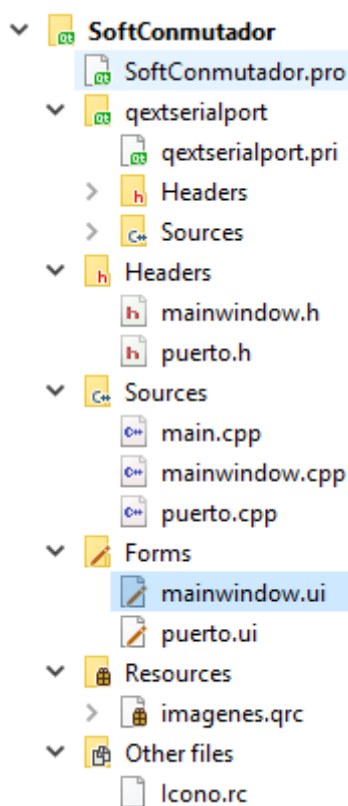


Figura 62 - Proyecto y Archivos

- **SoftConmutador.pro:** es el proyecto.

- **qextserialport:** son las librerías utilizadas para el funcionamiento de la comunicación USB/Serie.

- **Headers:** son los .h donde se realizan las declaraciones de constantes, variables, funciones, constructor y destructor.

- **Sources:** es donde se desarrollan las distintas funciones.

- **Forms:** son las interfaces gráficas.

- **Resources:** se crea un archivo .qrc donde se guardan todas las imágenes y se les asigna un nombre para utilizar.

- **Other files:** se utilizó para trabajar con el icono de la aplicación.

Las funciones más importantes de la aplicación son:

**Botón Conectar:** al presionarse se dispara una rutina que verifica todos los puertos COM disponibles y los muestra en una lista desplegable para ser elegido. Esto lo hace a través de una nueva ventana.

**Botón desconectar:** finaliza cualquier conexión a los puertos COM.

**Lista desplegable (ComboBox) del Panel:** se pueden elegir una serie de paneles solares por su nombre, los cuales al presionar se carga una imagen y sus características. De igual manera es para la Batería y el LED.

**Botón Habilitar Opciones Avanzadas:** permite que el usuario tenga una opción más en cada lista desplegable; esta es la de personalizar alguno de los dispositivos. Mediante un mensaje se le avisa al usuario que esta opción debe ser habilitada por personal capacitado ya que las configuraciones requieren conocer las distintas características de los mismos.

**Botón Deshabilitar Opciones Avanzadas:** al presionar este botón se esconde la opción de personalizar los dispositivos.

**Botón Enviar:** al presionarse se cargan los valores elegidos mediante las listas desplegables, creando una trama que contiene los parámetros, la cual será enviada a través del puerto. Estos mismos son guardados en la memoria EEPROM del microcontrolador. Al recibir la trama este devuelve la misma para confirmar su correcta recepción, mostrando un mensaje en la aplicación.

Los parámetros a cargar son:

- Tensión del Panel Máxima.
- Tensión del Panel Mínima.
- Corriente del Panel Máxima.
- Tensión de la Batería Máxima.
- Tensión de la Batería Mínima.
- Corriente Nominal de la Batería.
- Tensión del LED Máxima.
- Corriente Nominal del LED.

### 2.3.3 - Interfaz Hombre – Máquina.

Anteriormente se explicó que se necesitó para realizar dicha aplicación, ahora veremos con que se encuentra el usuario a la hora de utilizarla.

Al conectar el equipo (sin conectar el panel, la batería y el LED) a través del cable USB a la PC y abrir la aplicación nos encontraremos con la ventana principal.

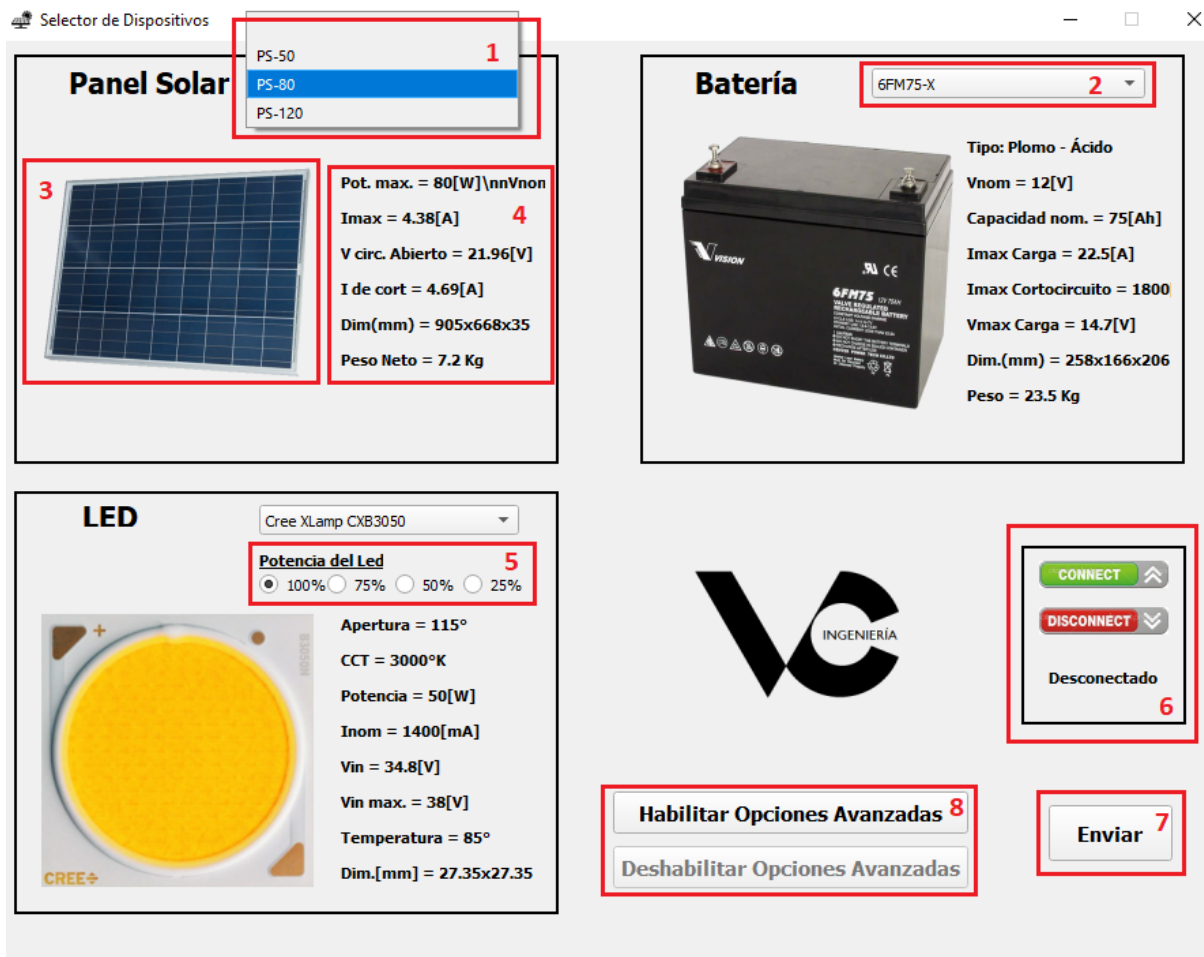
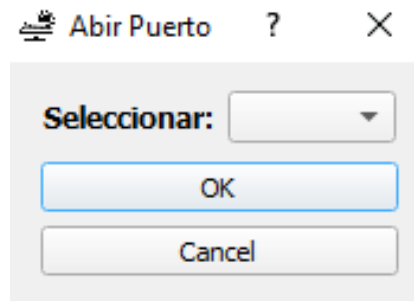


Figura 63 - Ventana Principal

Como se observa la aplicación consta de una serie de dispositivos precargados (1), los cuales mediante las listas desplegables (2) se pueden elegir. Al seleccionarlo cada uno presenta una

imagen (3) y descripción del mismo (4). En el caso particular del LED se pueden elegir si se requiere su funcionamiento al 100%, 75%, 50% o al 25% de su potencia (5).

Para conectarse al dispositivo, se debe presionar el botón “CONNECT” (6) y se abrirá la siguiente pantalla.



*Figura 64 - Conexión a puerto COM*

En la lista desplegable se observaran los puertos COM que encuentre el programa. Si desea conectar a alguno de ellos, debe elegirlo y confirma mediante el botón “OK”.

Una vez seleccionado los dispositivos y el puerto, se presiona el botón “Enviar” para cargar los parámetros a la placa. Se confirmará que los datos fueron cargados correctamente mediante un mensaje en la pantalla. Ahora sí el controlador ya se encuentra configurado.

También existe la posibilidad de cargar de forma manual alguno de los parámetros para usuarios con mayor conocimiento y que requieran de dispositivos que no se encuentren precargados. Esta opción se habilita presionando el botón “Habilitar Opciones Avanzadas” (8) la cual nos dará la opción de elegir “Dispositivo Personalizado” en la lista desplegable como se ve en la siguiente imagen.



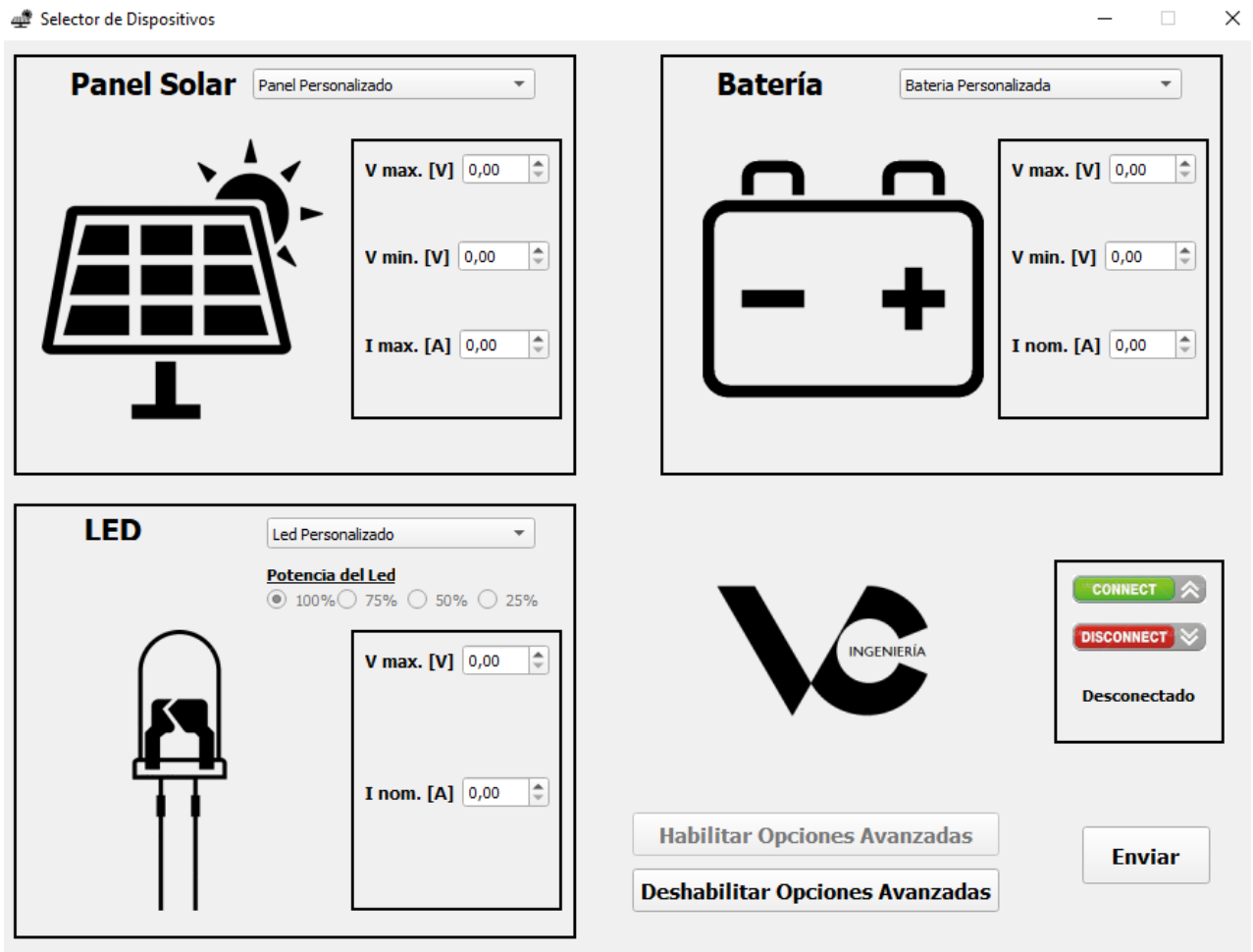


Figura 65 - Opciones avanzadas

## 2.4 - Diseño Completo

En el Anexo I y Anexo II se encuentran los esquemáticos del diseño final de la placa.

Este cuenta con las siguientes prestaciones:

- Tensión máxima en bornes del panel o fuente: 24[V]
- Corriente máxima del panel o fuente: 4.5[A]
- Potencia máxima soportada en bornes del panel o fuente: 120 [W]
- Tensión máxima en bornes de la batería: 15[V]
- Corriente máxima de la batería: 8[A]
- Potencia máxima soportada en bornes de la batería: 120[W]
- Tensión máxima en bornes del LED: 38 [V]
- Corriente máxima del LED: 2.8 [A]
- Potencia máxima soportada en bornes del LED: 100 [W]
- Rendimiento del cargador de batería: >94%
- Rendimiento del driver de LED: >93%
- Sensor de movimiento con detección de 3 a 7 metros de altura y ángulo de 110°.
- Puerto USB-B configuración de parámetros.

### 2.4.1 - Fotos del hardware

En las siguientes imágenes vemos capturas 3D del controlador.

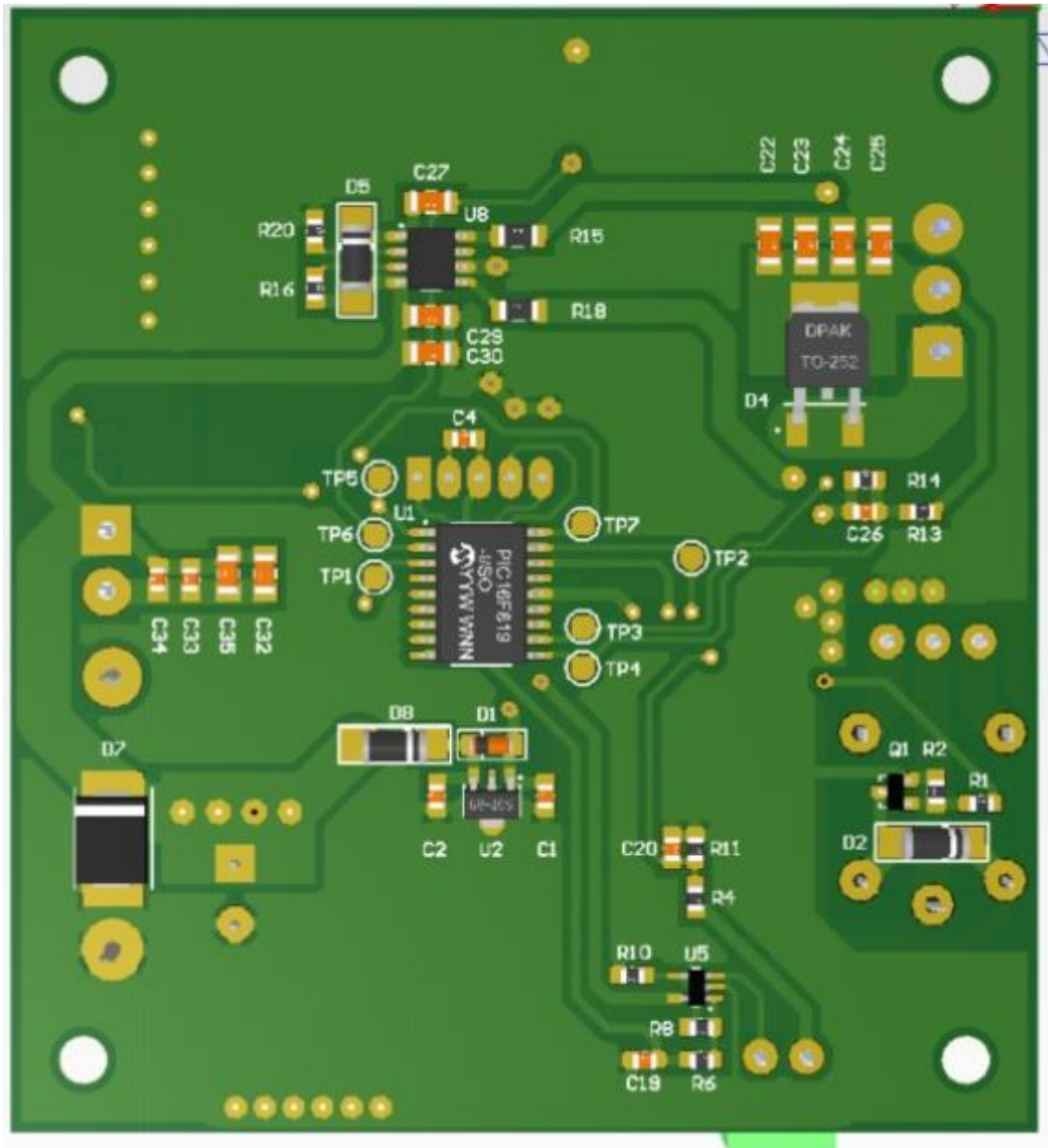


Figura 66 - Placa Principal Inferior

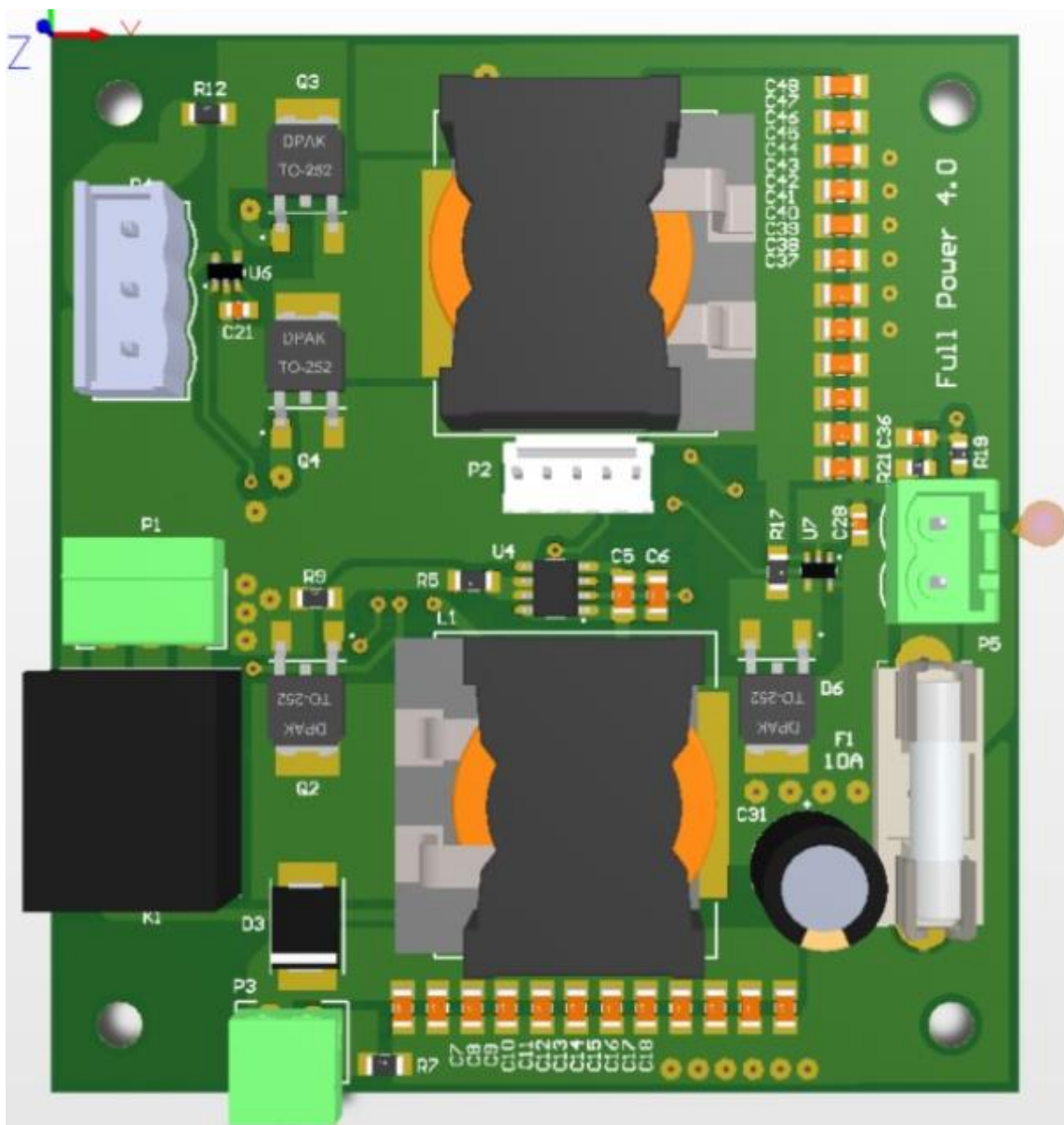


Figura 67 - Placa Principal Superior

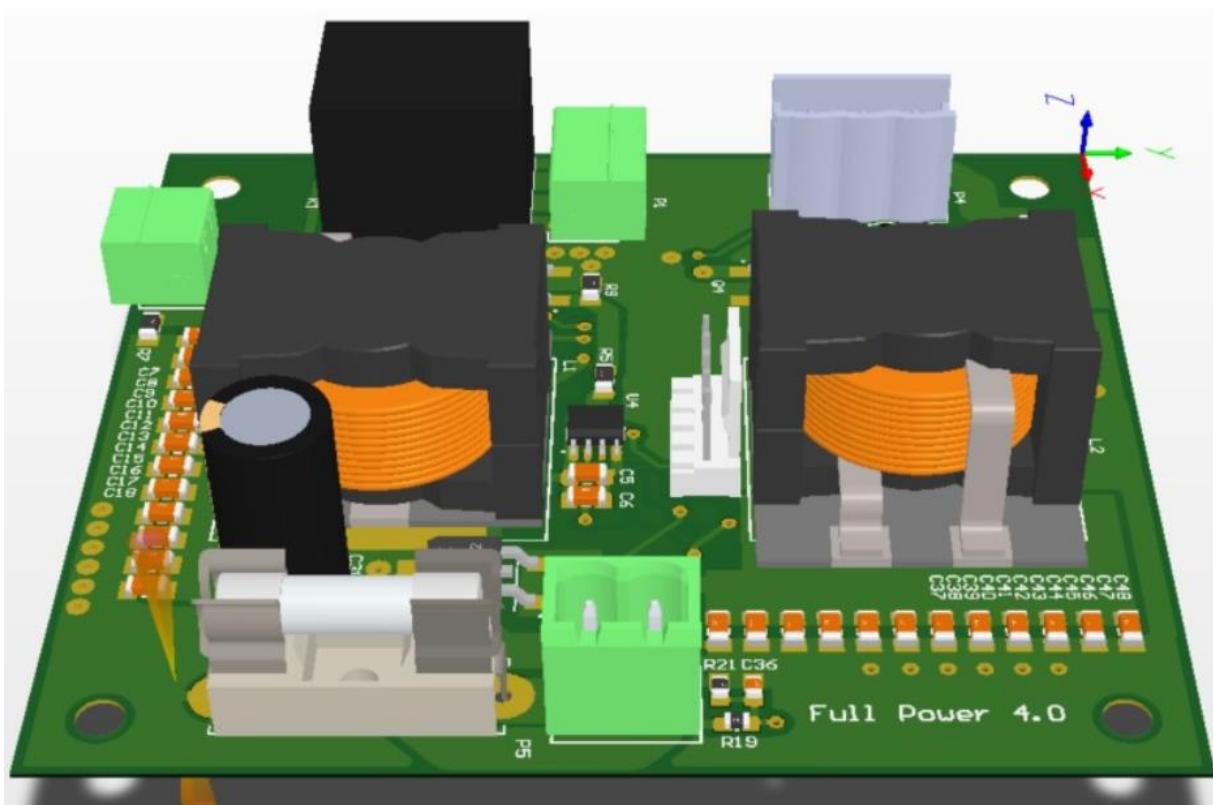


Figura 68 - Placa Principal Lateral Superior 1

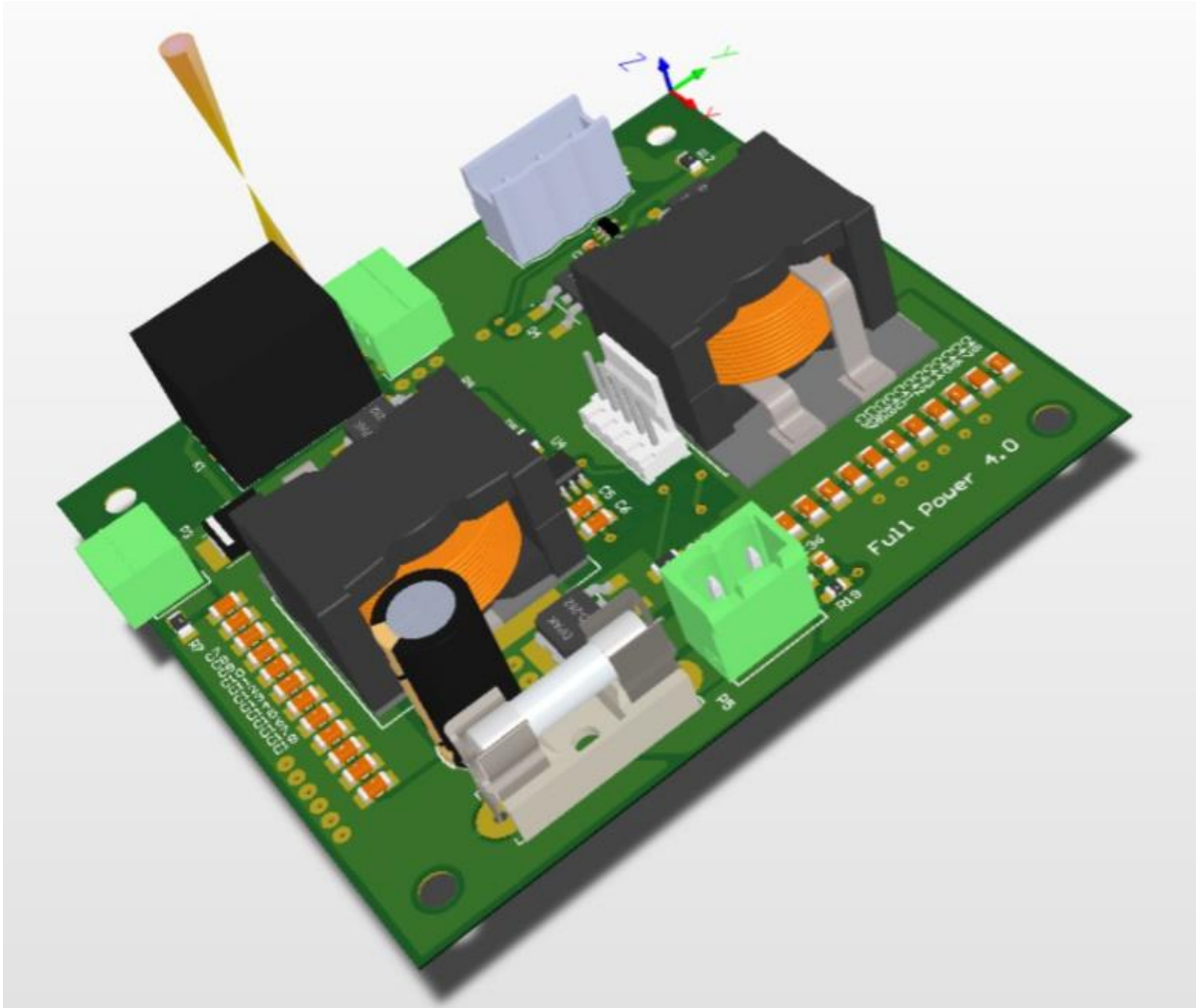


Figura 69 - Placa Principal Lateral Superior 2

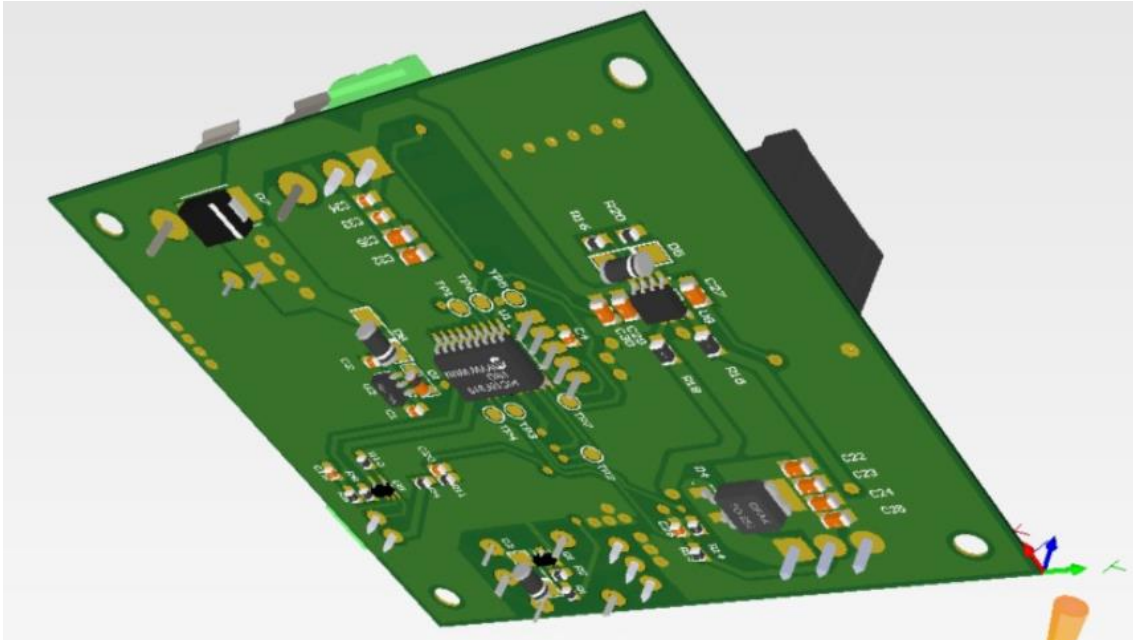


Figura 70 - Placa Principal Lateral Inferior

En las siguientes imágenes vemos capturas de la placa de comunicación.



Figura 71 - Placa Comunicación Superior

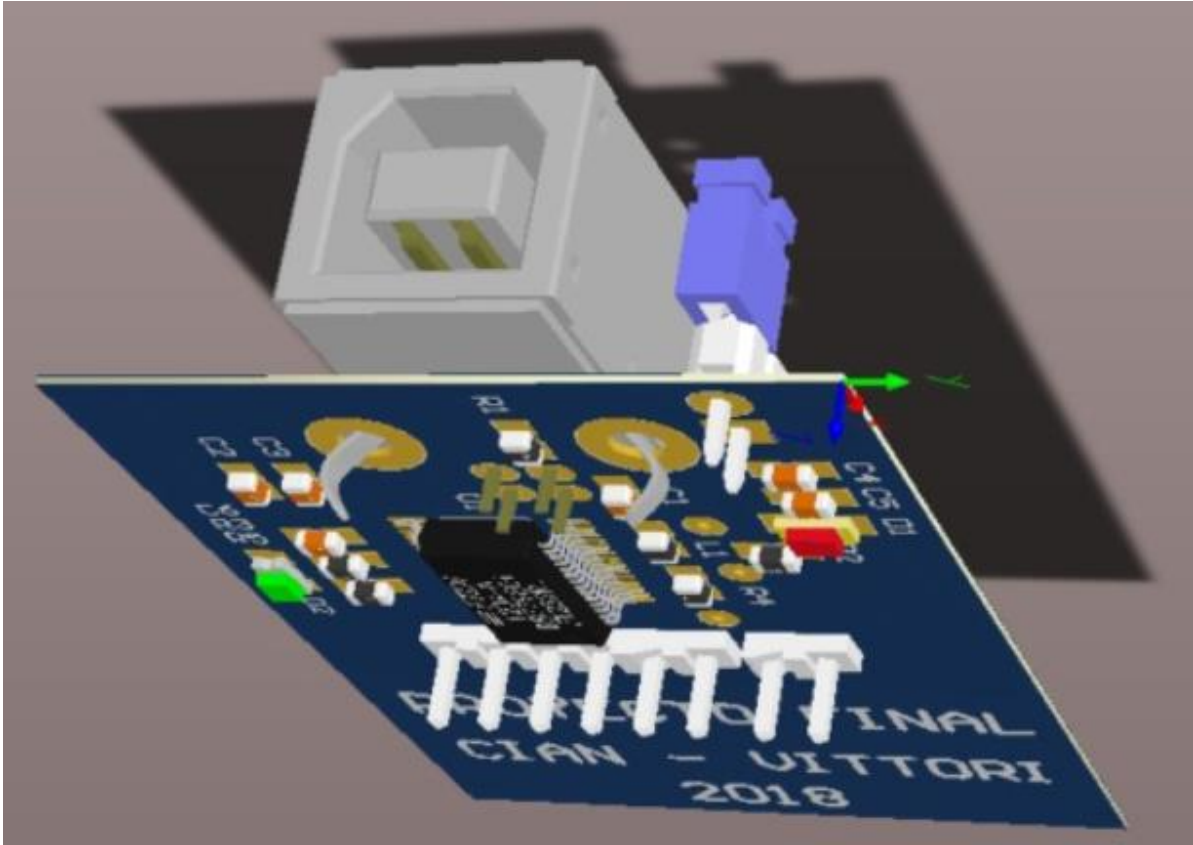


Figura 72 - Placa Comunicación Lateral Superior

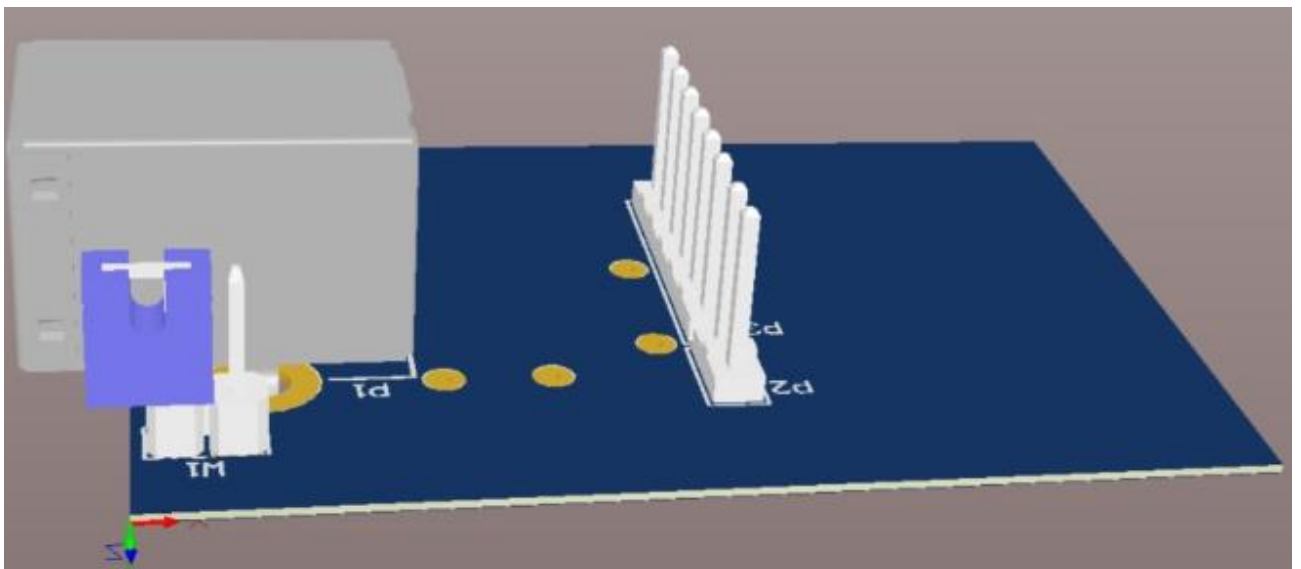


Figura 73 - Placa Comunicación Inferior



### 3 - Capítulo 3: Resultados

Uno de las prestaciones más importantes que se quiere conseguir en un controlador de estas características es su alta eficiencia. A continuación podemos ver una serie de tablas con muestran una eficiencia mayor del 93 % en ambas etapas del equipo.

#### 3.1 - Medición de Cargador de Baterías

Panel [V]	Panel [I]	Panel [P]	Batería [V]	Batería [I]	Batería [P]	Rendimiento
14,61	1,42	20,75	12,71	1,54	19,57	94,35
14,78	1,447	21,39	12,72	1,59	20,22	94,57
14,98	1,468	21,99	12,72	1,64	20,86	94,86
15,14	1,489	22,54	12,72	1,68	21,37	94,79
15,15	1,508	22,85	12,73	1,7	21,64	94,72
15,35	1,527	23,44	12,73	1,75	22,28	95,04
15,55	1,55	24,10	12,73	1,8	22,91	95,07
15,71	1,574	24,73	12,73	1,84	23,42	94,73
15,92	1,607	25,58	12,74	1,9	24,21	94,62
16,13	1,649	26,60	12,74	1,98	25,23	94,84
16,36	1,68	27,48	12,75	2,04	26,01	94,63
16,46	1,784	29,36	12,75	2,18	27,80	94,65
16,48	1,871	30,83	12,76	2,28	29,09	94,35
16,72	1,969	32,92	12,76	2,43	31,01	94,18
16,97	2,029	34,43	12,76	2,55	32,54	94,50
16,98	2,104	35,73	12,76	2,64	33,69	94,29
17,2	2,112	36,33	12,76	2,69	34,32	94,49
17,2	2,12	36,46	12,76	2,76	35,22	96,58
17,42	2,197	38,27	12,74	2,78	35,42	92,54
17,63	2,1	37,02	12,73	2,78	35,39	95,59
17,84	2,046	36,50	12,71	2,73	34,70	95,06
18,01	1,94	34,94	12,67	2,63	33,32	95,37
18,21	1,797	32,72	12,64	2,47	31,22	95,41
18,36	1,584	29,08	12,58	2,2	27,68	95,16
18,52	1,374	25,45	12,53	1,94	24,31	95,53

Tabla 1 - Muestras del Cargador de Batería.

Estas mediciones fueron realizadas en una puesta de sol donde se observan como el rendimiento no tiene grandes cambios pero si la intensidad solar. De esta manera se constata que el equipo responde de forma correcta.

A continuación se observa la curva del panel solar en la medición anteriormente realizada.

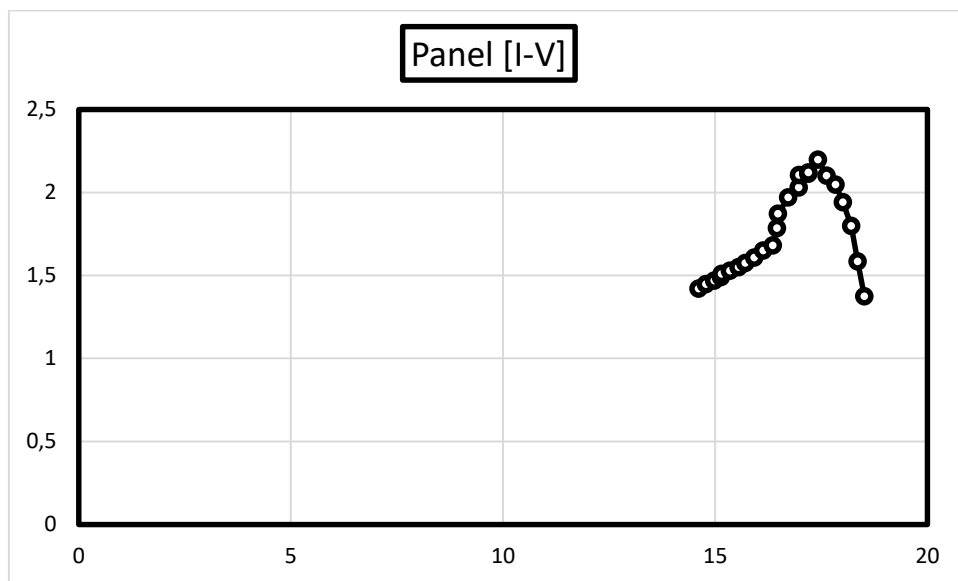


Figura 74 - Curva obtenida del Panel Solar

### 3.2 - Medición del Driver de LED.

Para las pruebas del driver de LED, sometimos el mismo a distintas frecuencias de conmutación de los MOSFET, obteniendo los mejores resultados en 125 [KHz]. A continuación se observa una de las tantas pruebas realizadas.

Frec.[KHz]	Duty	Batería[V]	Batería[I]	Batería[P]	LED [V]	LED [I]	LED [P]	Rendimiento
75	65,3	11,90	2,88	34,27	33,96	0,94	31,92	93,14
75	66,7	11,79	4,70	55,41	34,90	1,48	51,65	93,21
125	65	11,89	2,92	34,72	33,92	0,94	31,88	91,84
125	65	11,88	2,92	34,69	33,90	0,96	32,54	93,81
125	64,1	11,88	2,66	31,60	33,71	0,88	29,66	93,87
125	66,5	11,77	4,78	56,26	34,87	1,51	52,65	93,59
250	65	11,88	2,93	34,81	33,88	0,96	32,52	93,44
250	66	11,76	4,78	56,21	34,90	1,50	52,35	93,13
250	62,8	11,95	1,54	18,40	32,86	0,52	17,09	92,85
250	62,8	11,95	1,54	18,40	32,86	0,52	17,09	92,85
333	64	11,86	2,87	34,04	33,88	0,94	31,85	93,56
333	65,8	11,73	4,98	58,42	35,00	1,50	52,50	89,87
333	62,3	11,94	1,46	17,43	32,77	0,49	16,06	92,11

Tabla 2 – Muestras del Driver de LED

Otra prestación importante del equipo es su fácil configuración a través de una PC, este solo se conecta, se eligen los parámetros de los dispositivos y se cargan con la ayuda de un botón.

Su instalación es sencilla, basta con conectar el panel solar, la batería y el LED y es sistema comienza a andar por sí solo.

No requiere mantenimiento y tiene un precio muy inferior a los pocos productos de similares características que existen en el mercado.

## 4 - Capítulo 4: Análisis de costo

### 4.1 - Costos de materiales

En nuestro caso particular, un PCB de estas características y calidad cuesta alrededor de U\$99 los cuatro prototipos. Por ende cada uno sale alrededor de U\$ 25. (PCB de controlador más comunicación)

#### Para la placa de comunicación se utilizaron

Modelo	Descripción	Nombre	Precio U.	Cant	TOTAL
GCJ216R71H103KA01D	CAP CER 10000PF 50V X7R 0805	C1	0,27	1	0,27
CL21C470JBANNNC	CAP CER 47PF 50V C0G/NP0 0805	C2, C3	0,1	2	0,2
GCM21BR71H104KA37K	CAP CER 0.1UF 50V X7R 0805	C4, C6	0,21	2	0,42
CL21A475KAQNNNE	CAP CER 4.7UF 25V X5R 0805	C5	0,22	1	0,22
POWER	LED RED CLEAR 1206 SMD	D1	0,34	1	0,34
DATA	LED GREEN CLEAR 1206 SMD	D2	0,34	1	0,34
BLM18BA470SN1D	FERRITE BEAD 47 OHM 0603 1LN	L1	0,1	1	0,1
USB-B	CONN USB RTANG FEMALE TYPE B PCB	P1	0,73	1	0,73
Power MCU	JUMPER PLUG 2POS SING ROW	P2	0,17	1	0,17
XG8S-0631	JUMPER PLUG 6POS SING ROW	P3	0,4	1	0,4
RC0805JR-070RL	RES SMD 0 OHM JUMPER 1/8W 0805	R1	0,1	1	0,1
RMCF0805JT270R	RES 270 OHM 5% 1/8W 0805	R2, R5	0,1	2	0,2
RC0805JR-071KL	RES SMD 1K OHM 5% 1/8W 0805	R3	0,1	1	0,1
RC0805JR-0710KL	RES SMD 10K OHM 5% 1/8W 0805	R4	0,1	1	0,1
FT232RL-Reel	USB UART Asynchronous Serial Data Transfer Chip, SSOP-28, Tape and Reel	U1	4,5	1	4,5
Jumper	JUMPER PLUG 2POS SING ROW	W1	0,17	1	0,17
XJ8A-0211	CONNECTOR	WA1	0,31	1	0,31
					U\$ 8,67

Tabla 3 – Costo de componentes de PCB de comunicación

Para la placa del controlador se utilizaron

Modelo	Nombre	Precio U.	Cant	TOTAL
CL21B104KACNFNC	C1, C4, C19, C20, C21, C26, C28, C33, C34, C36	0,033	10	0,33
Cap	C2	0,033	1	0,033
Cap	C3	0,033	1	0,033
TMK212BBJ475MD-T	C5, C6, C22, C23, C24, C25, C29, C30, C32, C35, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, C44, C45, C46, C47, C48	0,22	22	4,84
Cap	C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18	0,24	12	2,88
Cap	C27	0,033	1	0,033
Cap Pol1	C31	0,033	1	0,033
Cap	C49	0,033	1	0,033
Diode 1N4148	D1	0,042	1	0,042
D Schottky	D2, D5	0,21	2	0,42
VSSC8L45-M3	D3, D7	0,15	2	0,3
SBRT10U60D1	D4, D6, D9	1	3	3
10A	F1	0,026	1	0,026
12v_Inv_Simple	K1	0,25	1	0,25
Inductor Iron	L1, L2	2,97	2	5,94
Header 3	P1	0,35	1	0,35
SOLAR PANEL	P1	0,35	1	0,35
ICSP	P2	0,35	1	0,35
LED	P3	0,35	1	0,35
BATTERY	P5	0,35	1	0,35
SMD	Q1	0,11	1	0,11
IRFR3504ZTRPBF	Q2, Q3, Q4	1,6	3	4,8
Res1	R1, R10, R11, R14	0,01	4	0,04
Res1	R2, R16, R20	0,01	3	0,03
Res1	R3	0,01	1	0,01
Res1	R4, R13	0,01	2	0,02
RSHUNT	R5	0,01	1	0,01
Res1	R6	0,01	1	0,01
RSHUNT	R7, R12	0,01	2	0,02
Res1	R8	0,01	1	0,01
RSHUNT	R9, R24	0,01	2	0,02
RSHUNT	R15, R18	0,01	2	0,02
RSHUNT	R17	0,01	1	0,01
Res1	R19	0,01	1	0,01

Res1	R21	0,01	1	0,01
RSHUNT	R22	0,01	1	0,01
RSHUNT	R23	0,01	1	0,01
Test Point	TP1, TP2, TP3, TP4, TP5, TP6, TP7	0,19	7	1,33
PIC16LF1827-I/SO	U1	1,51	1	1,51
KA78L05AIMTF	U2	0,41	1	0,41
FAN3122CMX	U3	1,61	1	1,61
TSC888AILT	U4, U6	1,24	2	2,48
MCP6001T-I/OT	U5	0,76	1	0,76
ADP3120AJRZ-RL	U7	0,64	1	0,64
				<b>U\$S 33,83</b>

*Tabla 4 - Costo de componentes de PCB de control*

#### **Costo de materiales de un equipo por 1 unidad.**

- PCB = U\$S 25

- Componentes de controlador: U\$S 33.83

- Componentes de comunicación: U\$S 8.67

- Total= U\$S 67.5

#### **4.2 - Costo de desarrollo**

El trabajo de un técnico en Argentina se paga \$18700 el mes de 8hs por día, lo que equivale a U\$S890 aproximadamente. (U\$S 1 = \$21)

Si trabajaron 2 personas durante 3 meses nos da un total de:

Costo de desarrollo:  $2 \times 3 \times \$18700 = \$112200$  o  $2 \times 3 \times \text{U\$S } 890 = \text{U\$S } 5340$

Con un costo de materiales de U\$S 67.5a pequeña escala y una competencia muy similar en prestaciones que es el modelo CIS-N-LED-2800 de Phocos (Alemania) con un valor de venta de U\$S143 podemos decir que el equipo se vendería en un precio de U\$S 93.

Con una ganancia de U\$S 25 por equipo, se necesita la venta de 214 equipos para cubrir los gastos de desarrollo y 43 equipos más para cubrir la mano de obra de ensamble de los PCB.

### 4.3 - Idea de negocio

Hoy en día se consigue muy buen financiamiento para proyectos de energías renovables. Obteniendo uno de estos préstamos podemos tener la idea de realizar una producción inicial de 1000 equipos para la venta, esto reduce mucho los costos de materiales y fabricación.

#### **Costo de equipo terminado por 1000 unidades**

PCB + Ensamblado = U\$S 13

Componentes de controlador: U\$S 18.5

Componentes de comunicación: U\$S 3.5

Total= U\$S 35

Nuevo Precio de Venta =U\$S 85

Ganancia = U\$S 50

El costo de cada equipo terminado será de unos U\$S 35 con una inversión de unos U\$S35000 (\$735000 aproximadamente).

Al ser un producto muy bueno en relación precio/prestaciones y con una competencia en el mercado nacional casi nula, se puede decir que la venta de estas unidades se pueden dar al cabo de uno o dos años.

Ganancia: U\$S 50000 / 12 meses= U\$S 4165 por mes o \$87465 por mes

Ganancia: U\$S 50000 / 24 meses= U\$S 2083 por mes o \$43743 por mes

A estos montos hay que restarles distintos tipos de gastos, como son la publicidad, la comercialización, el transporte, la distribución, el packaging, el servicio post venta, impuestos, entre otros; con los cuales no contamos para cuantificar su valor, pero se puede observar a simple vista que hablamos de cantidades y márgenes de ganancia muy grandes debido a que son productos que se instalan en lugares públicos o privados donde se necesita normalmente abarcar grandes cantidades de terreno.



## 5 - Capítulo 5: **Discusión y Conclusión.**

### 5.1 - **¿Qué se propuso y qué se logró?**

Al principio de este proyecto se propuso la realización de un controlador inteligente con el objetivo de que sea eficiente.

Hoy podemos decir que se obtuvo:

- Un hardware con un rendimiento mayor al 93% realizado con procesos de fabricación y componentes de excelente calidad y precio razonable.
- Un firmware que controla en tiempo real el funcionamiento de cada dispositivo conectado, ejecutándose de forma autónoma, determinando el entorno en el que se encuentra (Día o Noche), tomando muestras, verificando, corrigiendo errores y protegiendo a los mismos de fallas posibles que se puedan ocasionar.
- Una aplicación de interfaz amigable y fácil utilización para hacer del producto un dispositivo más flexible pudiendo configurar de diferentes maneras los parámetros de los equipos a controlador.

Es cierto que en el mercado se pueden conseguir cargadores de baterías o drivers de LED por un bajo costo. Estos se compran por separado y no suelen tener el rendimiento anteriormente mencionado, tampoco son duraderos y en ocasiones no trabajan de forma amigable con los dispositivos que se conectan.

Las pocas empresas que comercializan productos de estas características los ofrecen a valores mucho más elevados, por consiguiente el precio de venta (en cantidad) que se propuso creemos que logró una relación costo/beneficio excelente.

Queremos destacar que se encontraron inconvenientes en el proceso de desarrollo y producción, debido a la inexperiencia y la capacidad limitada de recursos. Podemos mencionar como alguno de estos la utilización del microcontrolador PIC16F1827 ya que durante la programación nos percatamos de sus limitantes. Este problema se resolvió mayormente con un código sumamente trabajado y optimizado.

Otra dificultad que nos encontramos es la de tener que grabar un nuevo firmware cada vez que se cambiara los dispositivos a conectar ya que no se había contemplado la gran variedad de dispositivos que se pueden utilizar en el rango de las prestaciones que presenta el equipo. Se solucionó gracias a la aplicación anteriormente mencionada y una placa de conexión USB anexada al controlador para poder cargar los parámetros a elección.

Pensando mejoras para futuras versiones se pueden mencionar:

- La utilización de un microcontrolador de 32bit, que consta de mejoras de velocidad de ejecución, de tamaño y velocidad de memoria, de mayor resolución en los PWM y de mayor resolución de entradas analógicas.
- Contemplar la comunicación vía WiFi o Bluetooth para no depender de cables a la hora de cargar los parámetros.
- Que la aplicación sea multiplataforma, hoy en día solo existe la versión PC, pero logrando una comunicación inalámbrica, se podría configurar el equipo desde una Tablet o celular.
- Utilizar componentes de mayor calidad y tecnologías aún más nuevas como son los sensores de Efecto Hall, usados para tomar muestras de corriente, de forma más precisa, eficiente y sencilla.

- Que contenga un mayor rango de parámetros y la posibilidad de conectar múltiples dispositivos (Ejemplo: 3 paneles, 2 baterías y un LED).

Si nos ponemos a pensar cómo avanza la tecnología, sabemos que en poco tiempo tendremos paneles solares más pequeños y livianos con mayor potencia de suministro, baterías más livianas y pequeñas con mayor capacidad de almacenamiento y vida útil, y sistemas de iluminación (LED o de otro tipo) mucho más eficiencia. Esos equipos siempre necesitarán de un controlador para trabajar en conjunto, uno del tipo como el desarrollado, que sea autónomo, de fácil implementación, adaptable a diferentes necesidades, de bajo costo y de alta eficiencia.

Creemos que las energías alternativas son el futuro/presente, ya que cada vez hay mayor demanda de energía y menos recursos. Con este desarrollo demostramos que con los conocimientos necesarios y el trabajo duro se pueden obtener soluciones amigables para el medio ambiente.

## 6 - Capítulo 6: Literatura Citada.

### 6.1 - Bibliografía

6FM75-X, V. . (s.f.). [www.vision-batt.com](http://www.vision-batt.com).

ADP3120A, O. S. (Junio de 2012). [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com). Obtenido de <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/ADP3120A-D.PDF>

Coilcraft, L. C. (2005). [www.inductors.ru](http://www.inductors.ru). Obtenido de [www.inductors.ru/pdf/Doc469\\_selecting\\_inductors.pdf](http://www.inductors.ru/pdf/Doc469_selecting_inductors.pdf)

Converter, J. C.-M.-M. (2008). [www.microchip.com](http://www.microchip.com).

CXB3050, C. X. (s.f.). [www.cree.com](http://www.cree.com). Obtenido de <http://www.cree.com/led-components/media/documents/ds-CXB3050.pdf>

Device, A. (s.f.). [www.analog.com](http://www.analog.com). Obtenido de <http://cds.linear.com/docs/en/design-note/dn95f.pdf>

DigiKey. (s.f.). [www.digikey.com](http://www.digikey.com). Obtenido de <https://www.google.com.ar/imghp?hl=es-419&tab=wi&ei=KMe6WJLxB8v4wATbp5TYCw&ved=0EKouCBMoAQ>

Electronics, P. (s.f.). [powerelectronics.com](http://powerelectronics.com). Obtenido de 10. <http://powerelectronics.com/site-files/powerelectronics.com/files/archive/powerelectronics.com/mag/606PET25.pdf>

Eliseo Sebastian, P. S. (s.f.). Obtenido de <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/156176932111/an%C3%A1lisis-de-la-curva-i-v-en-paneles-fotovoltaicos>

FTDICHIP. (2015). *Future Technology Devices International Ltd. FT232R USB UART IC.*

HC-SR501, P. F.-S. (2017). Obtenido de [a-electronics.com.mx/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=486](http://electronics.com.mx/index.php?controller=attachment&id_attachment=486)

MICROCHIP TECHNOLOGY. (2011). *PIC16(L)F1826/27.*

Rashid, M. H. (s.f.). *ELECTRONICA DE POTENCIA - Circuitos, dispositivos y aplicaciones.*

Solares, E. -P. (s.f.). <https://www.enertik.com.ar/>.