



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

UNIDAD PROFESIONAL ADOLFO LOPEZ MATEOS

INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Tesis

**“Diseño y Prototipo de un Cargador Electrónico Inteligente,
para una Batería Ácido-Plomo por medio del PIC-18F4550”**

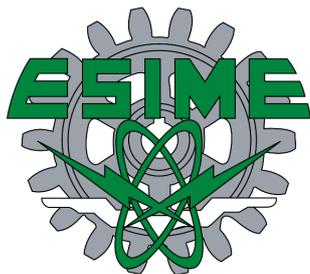
Que para obtener el Título de Ingeniero en
Comunicaciones y Electrónica

PRESENTAN:

**Castro Martínez Jorge Luis
Córdova Morales Pablo
Olmos Zarate Iván**

ASESORES:

**Dr. Jesús Enrique Urbano Noriega
Ing. Hugo Jorge Macías Palacios**



México D.F. a 11 de Enero del 2016

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. JORGE LUIS CASTRO MARTÍNEZ
C. PABLO CORDOVA MORALES
C. IVAN OLMOS ZARATE

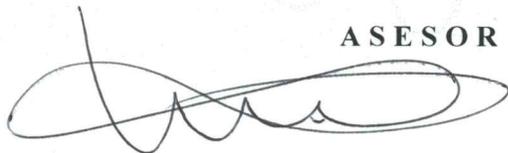
**“DISEÑO Y PROTOTIPO DE UN CARGADOR ELECTRÓNICO INTELIGENTE PARA UNA BATERIA
ÁCIDO-PLOMO POR MEDIO DEL PIC-18F4550”**

DISEÑAR Y CONSTRUIR UN SISTEMA ELECTRÓNICO INTELIGENTE CAPAZ DE MONITOREAR EL PROCESO DE CARGA DE UNA BATERIA DE ÁCIDO-PLOMO CON LA FINALIDAD DE PROLONGAR SU VIDA ÚTI.

- ❖ CAPÍTULO I. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y CONCEPTO DE LAS BATERIAS
- ❖ CAPITULO II. ANÁLISIS Y OPERACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN CARGADOR
- ❖ CAPÍTULO III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CARGADOR INTELIGENTE PARA BATERIAS ÁCIDO-PLOMO
- ❖ CAPÍTULO IV. VIABILIDAD ECONÓMICA Y DE MERCADO

MÉXICO D.F, A 11 DE ENERO DE 2016.

ASESOR



DR. JESÚS ENRIQUE URBANO
NORIEGA



ING. HUGO JORGE MACÍAS
PALACIOS



ING. PATRICIA LORENA RAMÍREZ RÁNGEL
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Objetivo

Diseñar y construir un sistema de control electrónico inteligente capaz de monitorear el proceso de carga de una batería de Ácido-Plomo con la finalidad de prolongar su vida útil.

Justificación

En la actualidad, los cargadores de baterías Ácido-Plomo no cuentan con un sistema electrónico inteligente capaz de controlar el proceso de carga, provocando así que la vida útil se acorte y generando por consecuente un daño a la batería y en forma indirecta al medio ambiente, la salud y la economía

Resumen

El presente proyecto es una investigación del proceso de carga de una Batería Ácido-Plomo con el objetivo de diseñar un cargador electrónico inteligente, para este trabajo se cuenta con cuatro capítulos:

En el Capítulo I se muestra los antecedentes y explica los tipos, funcionamiento y aplicaciones de las baterías. Se ve de forma detallada la Batería Ácido-Plomo: características técnicas, funcionamiento y problemas en largos períodos en carga y descarga, por ultimo una comparación de esta batería con otras.

En el Capítulo II se analizan los elementos de un cargador de baterías Ácido-Plomo, así como también las diferentes técnicas y algoritmos de carga. Finalmente se escoge el proceso y algoritmo de carga adecuado para la batería y se explica el funcionamiento de cada una de las etapas que conforman el algoritmo de carga elegido.

En el Capítulo III se presenta el diseño, desarrollo e implementación de los elementos internos del cargador de baterías Ácido-Plomo como: lo diversos dispositivos de potencia, protecciones y censado de voltaje y corriente para la protección del batería, controlado por un microcontrolador y finalizando con la construcción del prototipo.

Finalmente, en el Capítulo IV se detallan los gastos generados a lo largo de la construcción del prototipo, se hace un análisis de mercado y para concluir se consideran algunas mejoras del proyecto en trabajos futuros.

En los Anexos las hojas técnicas de los semiconductores, microcontrolador y elementos de potencia utilizados, así como la bibliografía de apoyo para esta investigación y conclusiones se encuentran en los apartados siguientes.

Abstract

This project is an investigation of the charging / discharging a lead-acid battery with the objective of designing an intelligent electronic charger, to this work we have four chapters:

In Chapter I shows the background and explains the types, operations and applications of the batteries. It looks in details Lead-Acid Battery: technical features, performance and problems in long periods of loading an unloading and finally a comparison of this with others batteries.

In Chapter II analyzes the elements of a Lead-Acid Battery charger as well as the different techniques and algorithms of charging. Finally the process and algorithm of charging is choosed according to the battery and explains the operation of each phase of algorithm that was selected.

In Chapter III presents the design and development of the internal elements of Lead-Acid Battery charger, as: the full-wave rectifier, power dispositives, protection circuits and temperature census to the battery, controlled by a microcontroller and ending with the construction of the prototype.

Finally, in Chapter IV describes the costs generated by the construction of the prototype, a market analyze is done and to conclude are considered future project to this work.

The Annexes has the conclusions of the project, is attached the semiconductor datasheets and the supporting literature to this research.

Agradecimientos

El presente trabajo presenta el final de una de las metas más grandes de nuestra vida, la conclusión de una carrera profesional, propósito que si bien ha sido de mucho esfuerzo, pasando por buenos y malos momentos, el resultado no hubiera sido favorable de no ser por personas que fueron parte importante de todo este proceso, su apoyo y respaldo en esta meta ya que nunca dejaron de creer en nosotros, gracias a cada uno de ellos el día de hoy este proyecto se ve finalizado.

Agradecemos a **nuestros padres** por brindarnos incondicionalmente todo su apoyo en éxitos, alentarnos con palabras para seguir en adelante en los fracasos, haciendo de este triunfo más suyos que nuestro, ya que ellos fueron, son y serán parte nuestra inspiración. *Los amamos.*

A nuestro asesor Metodológico **Dr. Jesús Enrique Urbano Noriega** por compartir sus conocimientos así como el interés en que este proyecto fuera un éxito. *Parte importante de este trabajo.*

A nuestro asesor Técnico **Ing. Hugo Jorge Macías Palacios** por su invaluable conocimiento convirtiéndose en nuestro maestro desde hace un año atrás y siendo gran clave del éxito mismo. *Nuestro aprecio y admiración siempre.*

A la **familia y amigos** que con sus palabras de aliento formaron una pequeña parte de este trabajo.

Y por ultimo y no menos importante, a la gloriosa **ESIME Zacatenco** del Instituto Politécnico Nacional por darnos las herramientas para enfrentarnos al mundo laboral, tuvimos los mejores años de nuestra vida en esta institución. *Nunca la olvidaremos.*

Jorge Luis Castro Martínez
Pablo Córdova Morales
Iván Olmos Zarate

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
México D.F. Marzo 2015

Índice

Objetivo.....	I
Justificación.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Índice Capitulado.....	V
Índice de Figuras, Tablas y Diagramas.....	VI

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES HISTORICOS Y CONCEPTOS DE LAS BATERIAS

1.1. Antecedentes Históricos.....	1
1.1.1. Primeras Baterías.....	2
1.1.2. Invención de la Batería Recargable.....	3
1.2. Definición y Clasificación de las Baterías.....	4
1.2.1. Funcionamiento Básico de una Batería	
1.2.2. Características que definen a una Batería.....	5
1.3. Baterías Ácido-Plomo.....	7
1.3.1. Clasificación y tipos de Baterías Ácido-Plomo	
1.3.2. Características Técnicas de las Baterías Ácido-Plomo.....	9
1.3.3. Funcionamiento de la Batería Ácido-Plomo en Carga / Descarga.....	10
1.3.4. Problemas que presenta la Batería Ácido-Plomo durante largos periodos de Carga / Descarga.....	13
1.4. Ventajas y Desventajas de las Baterías Ácido-Plomo comparada con otras baterías.....	14

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y OPERACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN CARGADOR

2.1. Definición de un Cargador.....	17
2.1.1. Tipos de Cargadores.....	18
2.2. Métodos de Carga para una Batería Ácido-Plomo.....	21
2.2.1. Método de Recarga Lenta	
2.2.2. Método de Recarga Rápida	
2.3. Técnicas de Carga para una Batería Ácido-Plomo.....	22
2.3.1. Sobrecarga	
2.3.2. Carga a voltaje constante con limitación de corriente	
2.3.3. Carga a voltaje constante y corriente constante.....	23
2.3.4. Carga rápida	
2.3.5. Carga con corriente constante	
2.3.6. Flotación	

2.4. Algoritmo de Carga.....	25
2.4.1. Carga a corriente constante (Etapa Bulk).....	26
2.4.2. Sobrecarga controlada (Etapa de Absorción)	
2.4.3. Flotación	

2.5. Problemas Típicos de los Cargadores Ácido-Plomo.....	28
--	-----------

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL CARGADOR INTELIGENTE PARA BATERIAS ÁCIDO-PLOMO

3.1. Umbrales de Voltaje y Corriente para las Etapas de Carga.....	29
---	-----------

3.2. Cálculos y Diseño del Prototipo

3.2.1. Diagrama a Bloques	
3.2.1.1. Diseño del Driver para el Buck Converter.....	39
3.2.1.2. Diseño del Buck Converter.....	44
3.2.1.3. Diseño de Protecciones.....	48
3.2.1.3.1. Protección contra Polaridad Invertida	
3.2.1.3.2. Protección contra una Batería de Voltaje Superior.....	50
3.2.1.4. Diseño de Sensores.....	51
3.2.1.4.1. Tensión y Voltímetro	
3.2.1.4.2. Corriente y Amperímetro.....	52
3.2.1.4.3. Batería Con Polaridad Invertida.....	54
3.2.1.4.4. Batería No Conectada.....	55
3.2.1.4.5. Batería Conectada con Polaridad Correcta	
3.2.2. Circuito Esquemático.....	56
3.2.3. Diagrama de Flujo.....	57

3.3. Pruebas y Resultados.....	59
---------------------------------------	-----------

3.4. Construcción del Prototipo.....	61
---	-----------

CAPITULO IV

VIABILIDAD ECONOMICA Y DE MERCADO

4.1. Costos.....	63
-------------------------	-----------

4.2. Análisis del Mercado.....	64
---------------------------------------	-----------

4.3. Precios de Venta y Mercadotecnia.....	66
---	-----------

4.4. Proyectos Futuros.....	68
------------------------------------	-----------

Conclusiones

Bibliografía

Glosario

Anexos

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo I

Tabla 1.1: Correspondiente a la figura de conexiones de la batería de Volta.....	2
Tabla 1.2: Vida útil de las Baterías Ácido-Plomo.....	9
Tabla 1.3: Composición en peso de una Batería Ácido-Plomo.....	10
Tabla 1.4: Punto de Congelación de una Batería Ácido-Plomo.....	13
Tabla 1.5: Relación de altas temperatura con la vida útil de la Batería Ácido-Plomo	
Tabla 1.6: Ventajas y desventajas de baterías, unas respecto de otras.....	14
Tabla 1.7: Comparación de la Batería Ácido-Plomo con otras baterías.....	15

Capítulo III

Tabla 3.1: Valor de n expresado en código binario.....	30
Tabla 3.2 Valor de n expresado en valor Hexadecimal.....	31
Tabla 3.3: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa.....	32
Tabla 3.4: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa.....	34
Tabla 3.5: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa.....	36
Tabla 3.6: Relación de Temperatura respecto a Voltaje durante la Etapa de Carga I y II para una batería de 12V.....	37
Tabla 3.7: Relación de Temperatura respecto a Voltaje durante la Etapa de Carga III para una batería de 12V.....	38

Capítulo IV

Tabla 4.1 Costo por pieza del Prototipo.....	63
Tabla 4.3a Costo por mas de 10 pieza del prototipo.....	66
Tabla 4.3b Costo por mas de 10 pieza del prototipo.....	67
Tabla 4.4 Precio final del Proyecto.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1.1: Batería de Parto.....	1
Figura 1.2: Alessandro Volta, inventor de la batería eléctrica.....	2
Figura 1.3: Cuatro diferentes conexiones de la batería de Volta	
Figura 1.4: Experimentos de Volta en el Instituto de Francia.....	3
Figura 1.5: Primera Batería Inundada	
Figura 1.6: Circuito Eléctrico.....	4
Figura 1.7: Algunas aplicaciones de las Baterías Ácido-Plomo.....	5
Figura1.8: Grafica de auto descarga Nickel-Cadmio	
Figura 1.9: EL robot ASIMO de Honda utiliza una batería Ni-HM.....	6
Figura 1.10: Algunas aplicaciones de la batería Ion-Litio	
Figura 1.11: La marca Apple utiliza en sus dispositivos baterías Li-Po.....	7
Figura 1.12: Estructura interna de las Baterías Ácido-Plomo.....	9
Figura 1.13: Batería Cargada.....	11
Figura 1.14 Batería Descargada	
Figura 1.15: Variaciones de Voltaje en una Batería Ácido-Plomo.....	12
Figura 1.16: Variaciones de Voltaje en una Batería Ácido-Plomo	

Capitulo II

Figura 1.17: Energía específica y densidad específica de varias baterías.....	15
Figura 2.1: Ejemplo de Cargador para baterías Ácido-Plomo.....	17
Figura 2.1.A: Cargador sencillo.....	18
Figura 2.1.1B: Cargadores temporizador.....	19
Figura 2.1.1C: Etapas de cargado	
Figura 2.1.1.D: Cargador a pulsos.....	20
Figura 2.1.1.E: Cargador inductivo	
Figura 2.3.6: Representación de etapas.....	24
Figura 2.4: Algoritmo de Carga.....	25

Figura 2.4.3 Etapas de Cargado..... 27

Capitulo III

Figura 3.1a Detallan la selección de los voltajes por celda (Etapa de Carga I y II)..... 37

Figura 3.1b detallan la selección de los voltajes por celda(Etapa de Carga III)..... 38

Figura 3.2a: MOSFET en estado OFF (Apagado)..... 39

Figura 3.2b: MOSFET en estado ON (Conducción)

Figura 3.2c: Control de ON y OFF desde el microcontrolador

Figura 3.3: Esta configuración es llamada Tótem

Figura3.4: Control de Q_1 40

Figura 3.5: Malla equivalente de base del transistor Q_1

Figura 3.6: Control de Q_3

Figura 3.7: Saturación y corte de los transistores Q_2 y Q_3 41

Figura 3.8: Circuito equivalente: Resolviendo por medio del método de mallas

Figura 3.9: Circuito de control para el MOSFET M1..... 43

Figura 3.10: Topología del Buck Converter..... 46

Figura 3.11: MOSFET M1 en ON

Figura 3.12 y 3.13: MOSFET M1 en ON..... 47

Figura 3.14: Circuito Final del Buck Converter

Figura 3.15: Se necesita proteger al Buck Converter contra este caso..... 48

Figura 3.16: MOSFET M2 como solución al problema anteriormente planteado (cuadro en rojo) cuadro azul Buck Converter

Figura 3.17: Segundo MOSFET, controlado por el microcontrolador 49

Figura 3.18: Flujo de Corriente debido a una batería de 24V..... 50

Figura 3.19: Diodo polarizado en inversa para impedir el flujo de la corriente hacia la fuente

Figura 3.20: Circuito divisor de tensión / sensor de voltaje..... 52

Figura 3.21: Circuito final del Amperímetro..... 53

Figura 3.23: Batería con polaridad invertida..... 54

Figura 3.24: Colocación de una rama externa para aumentar la corriente

Figura 3.25: Colocación de una rama externa para aumentar la corriente..... 55

Figura 3.25: Protección, para limitar la tensión negativa que vera el PIC

Figura 3.26: Versión 1 del Cargador de Baterías..... 59

Figura 3.27: Versión 1 del Cargador de Baterías: se colocaron capacitores extras debido al ruido

Figura 3.28: Versión 1 del Cargador de Baterías: se logró con éxito el control del PWM

Figura 3.29: Versión 2 del Cargador de Baterías: circuito mejor estructurado y firme en desempeño..... 60

Figura 3.30: El control de proceso de carga se logrado con éxito

Figura 3.31: Versión 3 del Cargador de Baterías: Parte inferior del circuito..... 61

Figura 3.32: Versión 3 del Cargador de Baterías: Parte superior del circuito

Figura 3.33: Versión 3 del Cargador de Baterías: Parte inferior del circuito..... 62

Figura 3.34: Prototipo Finalizado

Capitulo IV

Figura 4.1: Cargador STEREN..... 64

Figura 4.2: Cargador AG Electrónica

Figura 4.3: Cargador MASCOT..... 65

Figura 4.4: Cargador Electrónico Inteligente para Baterías Ácido-Plomo IPN

Figura 4.5: Cámara de video vigilancia con alimentación de una batería y cargador..... 68

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Capítulo III

Diagrama 3.2.1: Bloques del Circuito..... 38

Diagrama 3.2: Esquemático del Circuito..... 56

Diagrama 3.2.3a: Diagrama de Flujo (Parte I)..... 57

Diagrama 3.2.3b: Diagrama de Flujo (Parte II)..... 58



Antecedentes Históricos y Concepto de las Baterías

- Antecedentes de las Baterías
- Definición y Clasificación de las Baterías
- Baterías Ácido-Plomo
- Ventajas y Desventajas de las Baterías Ácido-Plomo contra otras baterías

Antecedentes Históricos y Concepto de las Baterías

En el presente capítulo vamos a encontrar algunos temas necesarios para conocer mejor esta tesis, comprender la definición “batería” desde sus orígenes, así como su clasificación, aplicación y funcionamiento determinan que la batería Ácido-Plomo es la indicada para este proyecto teniendo en cuenta sus características técnicas y comparándola con las ventajas y desventajas de esta con otro tipo de baterías.

1.1. Antecedentes Históricos

Uno de los descubrimientos más notables y novedosos en los últimos 400 años ha sido la electricidad. Nos podríamos preguntar: “¿Había electricidad hace mucho tiempo?” La respuesta es sí, y tal vez mucho más tiempo, pero su uso práctico sólo ha estado a nuestra disposición desde mediados de 1800, y de manera limitada en un primer momento. Una de las obras públicas más famosas y que llamaba la atención, se suscitó durante el año de 1893 en la Exposición Mundial de Chicago con 250.000 bombillas, iluminando un puente sobre el río Sena durante la Feria Mundial en 1900 en París.

Durante la construcción de un ferrocarril en 1936, cerca de Bagdad, los trabajadores descubrieron lo que parecía ser una batería, también conocida como el Batería de Parto cuya antigüedad se cree que es 2000 años. La batería consistió en un frasco de arcilla que se llenó con una solución de vinagre en el que se insertó una barra de hierro rodeado por un cilindro de cobre. Este dispositivo produce 1.1 a 2 volts de electricidad. La Figura 1.1 ilustra la batería de Parto. [1]

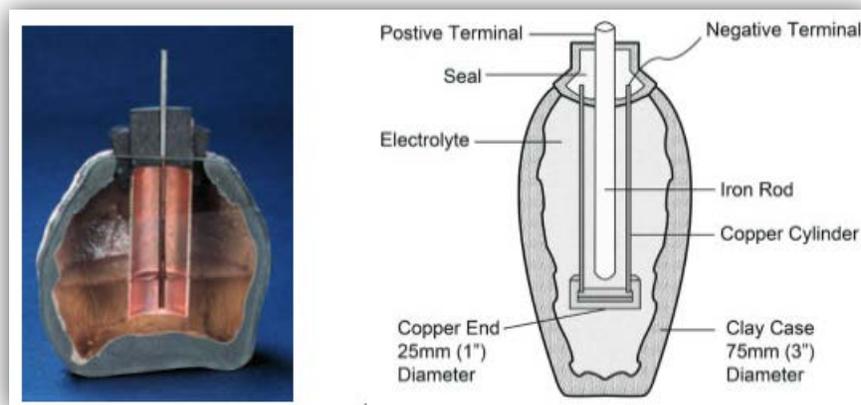


Figura 1.1 Batería de Parto. Una vasija de barro prehistórica con una barra de hierro rodeado por un cilindro de cobre. Cuando se llena de vinagre o una solución electrolítica, el tarro produce de 1.1 a 2 volts.

Es posible que el dispositivo se utilice para la galvanoplastia, tales como la adición de una capa de oro u otros metales preciosos a una superficie. Los egipcios se dice que han galvanizado antimonio en cobre hace más de 4300 años. La evidencia arqueológica sugiere que los babilonios fueron los primeros en descubrir y emplear una técnica galvánica en la fabricación de joyas mediante el uso de un electrolito. Los partos, que gobernaron Bagdad (250AC), pueden haber utilizado pilas para galvanizar plata.

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

Uno de los primeros métodos para generar electricidad en los tiempos modernos, fue por medio de la llamada creación de una carga estática. En 1660, Otto Von Guericke construye una máquina eléctrica usando un gran globo de azufre que al ser frotado atrajo plumas y pequeños pedazos de papel.

Guericke fue capaz de demostrar que las chispas generadas eran de naturaleza eléctrica.

Los métodos más antiguos de generar electricidad lo hacían creando cargas estáticas y se hizo por medio de la "Pistola Eléctrica", que Alessandro Volta (1745-1827) (Figura 1.2) inventó. Esta consistía en colocar un conductor eléctrico en una jarra llena de gas metano. Al enviar una chispa eléctrica por el conductor, la jarra explotaba. Volta luego pensó en utilizar este invento para las comunicaciones de larga distancia pero este enlace de comunicación jamás se construyó.



Figura 1.2 Alessandro Volta inventor de la batería eléctrica

En 1791, mientras trabajaba en la Universidad de Bolonia, Luigi Galvani descubrió que el músculo de una rana se contraerá cuando se toca con un objeto metálico. Este fenómeno se conoció como la electricidad animal. Impulsada por estos experimentos, Volta inició una serie de experimentos utilizando zinc, plomo, estaño y hierro en forma de placas positivas (ánodo); y el cobre, la plata, el oro y grafito como placas negativo (cátodo). El interés por la electricidad galvánica pronto se generalizó. [1]

1.1.1. Primeras Baterías

Volta descubrió en 1800 que ciertos fluidos generarían un flujo continuo de energía eléctrica, este descubrimiento llevó a la invención de la primera pila voltaica, más comúnmente conocida como batería. Volta descubrió además que la tensión aumentaría cuando las células fotovoltaicas se apilan en la parte superior de cada otra. La Figura 1.3 ilustra una conexión de este tipo.

Nombre	Afinidad	P.E.O.
Zinc	1.6v	-0.76v
Plomo	1.9v	-0.13v
Hierro	1.8v	-0.04v
Cobre	1.9v	-0.159v
Plata	1.9v	1.98v
Oro	2.4v	1.83v

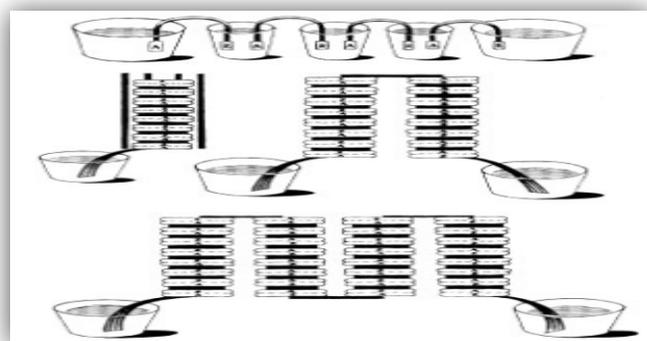


Figura 1.3 Cuatro diferentes conexiones de la batería de Volta. Los metales en una batería tienen diferentes efectos eléctricos. Volta cuenta de que el potencial de voltaje con sustancias diferentes se hizo más fuerte cuanto más separados están.

Tabla 1.1 correspondiente a la figura de conexiones de la batería de Volta. El primer número de los metales enumerados a continuación es la afinidad para atraer a los electrones; el segundo es el potencial estándar del primer estado de oxidación.

[1] Buchmann, 2003
 [2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
 [3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
 [4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

En el mismo año, Volta lanzó su descubrimiento de una fuente continua de energía eléctrica a la Royal Society de Londres. Francia fue uno de los primeros países en reconocer oficialmente los descubrimientos de Volta. Esto fue durante una época en que Francia se acercaba a la altura de los avances científicos y las nuevas ideas fueron recibidas con los brazos abiertos, lo que ayuda a apoyar la agenda política del país.



Figura 1.4 Experimentos de Volta en el Instituto de Francia. Volta impresionó tanto al mundo que en noviembre de 1800, el Instituto Nacional de Francia lo invitó a conferencias en eventos en los que Napoleón Bonaparte participó. Napoleón ayudó con los experimentos, dibujo chispas de la batería, la fusión de un hilo de acero, descargando una pistola eléctrica y a descomponer el agua en sus elementos.

Por invitación, Volta se dirigió al Instituto de Francia en una serie de conferencias en la que Napoleón Bonaparte estuvo presente como miembro del instituto Figura 1.4 [1].

En 1800, Sir Humphry Davy, inventor de la lámpara de seguridad de la minera, comenzó a probar los efectos químicos de la electricidad y se enteró de que la descomposición se produjo cuando el paso de corriente eléctrica a través de sustancias. Este proceso fue más tarde llamado electrólisis. Hizo nuevos descubrimientos mediante la instalación de la batería eléctrica más grande y más potente del mundo en las bóvedas de la Royal Institution de

Londres, la batería para electrodos de carbón produjo la primera luz eléctrica. Los testigos informaron que su lámpara produjo "el más brillante arco ascendente de luz nunca visto".

En 1802, William Cruickshank diseñó la primera batería eléctrica para la producción masiva. Cruickshank organizó láminas cuadradas de cobre con hojas del mismo tamaño tamaños de zinc. Estas hojas se colocaron en una larga caja de madera rectangular y soldadas entre sí. Surcos en la casilla colocaron las placas de metal en posición, y luego la caja sellada se llenó de un electrolito de salmuera, o un ácido y agua. Esto se parecía a la batería con líquido que aún está con nosotros hoy. La Figura 1.5 ilustra el taller de la batería de Cruickshank.



1.5 Primera Batería Inundada. William Cruickshank, químico Inglés, construyó una batería de pilas eléctricas uniendo planchas de zinc y cobre en una caja de madera llena de una solución de electrolitos. Este diseño inundado tenía la ventaja de que no se seque con el uso y proporciona más energía que la disposición del disco de Volta.

1.1.2. Invención de la Batería Recargable [1]

En 1836, John F. Daniell, un químico Inglés, desarrolló una batería mejorada que produce una corriente más estable que los dispositivos anteriores. Hasta ese momento, todas las baterías eran de un solo uso, lo que significa que no podían ser recargadas. En 1859, el físico francés Gaston Planté inventó la primera batería recargable basada en el ácido de plomo, un sistema que todavía se utiliza hoy en día.

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

En 1899, Waldmar Jungner de Suecia inventó la batería de Níquel-Cadmio (Ni-Cd), que utiliza el níquel para el electrodo positivo (ánodo) y el cadmio para el negativo (cátodo). Los altos costos de materiales en comparación con el ácido de plomo limitan su uso, y dos años más tarde. No fue sino hasta 1932 que Shlecht y Ackermann lograron corrientes de carga más altos y mejoraron la longevidad de Ni-Cd inventando la placa polar sinterizado. En 1947, Georg Neumann logró sellar la celda.

La mayoría de las actividades de investigación actuales giran en torno a la mejora de los sistemas a base de litio. Además de la alimentación de los teléfonos celulares, computadoras portátiles, cámaras digitales, herramientas eléctricas y aparatos médicos, Li-Ion también se utiliza para los vehículos eléctricos. La batería tiene una serie de beneficios, sobre todo su alta energía específica, carga simple y de bajo mantenimiento.

1.2. Definición y Clasificación de las Baterías [2]

La batería es un dispositivo que almacena energía en forma electroquímica y es el más ampliamente usado para almacenar energía en una variedad de aplicaciones. Existen dos tipos básicos de baterías:

- ✚ **Batería primaria:** su reacción electroquímica es irreversible, es decir, después de que la batería se ha descargado no puede volver a cargarse.
- ✚ **Batería secundaria:** su reacción electroquímica es reversible, es decir después de que la batería se ha descargado puede ser cargada inyectándole corriente continua desde una fuente externa. Su eficiencia en un ciclo de carga y descarga está entre el 70% y 80%.

1.2.1. Funcionamiento Básico de una Batería [2]

En general el funcionamiento de una batería, se basa en una celda electroquímica. Las celdas electroquímicas tienen dos electrodos: El Ánodo y el Cátodo.

El ánodo se define como el electrodo en el que se lleva a cabo la oxidación y el cátodo donde se efectúa la reducción.

Los electrodos pueden ser de cualquier material que sea un conductor eléctrico, como metales y semiconductores.

Para completar el circuito eléctrico, las disoluciones se conectan mediante un conductor por el que pasan los cationes y aniones, conocido como puente de sal (puente salino).

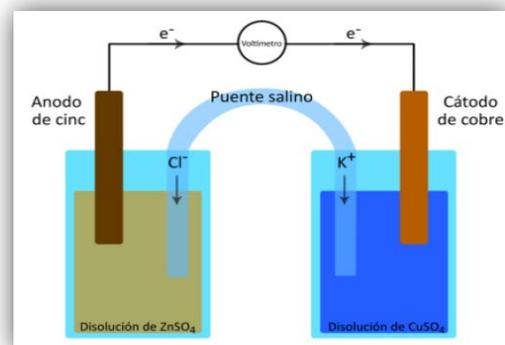


Figura 1.6 Circuito Eléctrico. Batería conectada internamente por el puente salino

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

Los cationes disueltos (K^+) se mueven hacia el Cátodo y los aniones (Cl^-) hacia el Ánodo para que las disoluciones se neutralicen. La corriente eléctrica fluye del ánodo al cátodo porque existe una diferencia de potencial eléctrico entre ambos electrolitos como se muestra en la Figura 1.6.

1.2.2. Características que definen a una Batería. [2]

Se tienen tres factores importantes en una batería:

- ✚ **La cantidad de energía que puede almacenar.** El número de W/h puede calcularse multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de A/h.
- ✚ **La máxima corriente que puede entregar (descarga).** Se especifica como un número fraccionario, por ejemplo para $C=200[Ah]$ una de tipo $C/20=10A$ quiere decir que la batería puede entregar 10A por 20 horas.
- ✚ **La profundidad de descarga que puede sostener.** Representa la cantidad de energía que puede extraerse de una batería. Este valor está dado en forma porcentual.

1.2.3. Tipos de Baterías y Aplicaciones. [2]

Los tipos de baterías más comunes son:

- ✚ **Batería Ácido-Plomo:** Es el tipo de batería recargable más común por su buena relación de desempeño-costo aunque es la de menor densidad de energía por peso y volumen. La batería ácido-plomo es, en el momento actual, imprescindible e insustituible, especialmente en automoción, pero también en muchas otras aplicaciones que exigen continuidad en el suministro de energía eléctrica (Figura 1.7).
- ✚ **Batería de Nickel-Cadmio:** Se caracteriza por celdas selladas, por tener la mitad del peso y por ser tolerante a altas temperaturas, que una batería de ácido-plomo convencional. Tiene una muy baja tasa de auto descarga (Figura 1.8).



Figura 1.7 Algunas aplicaciones de las baterías ácido-plomo.

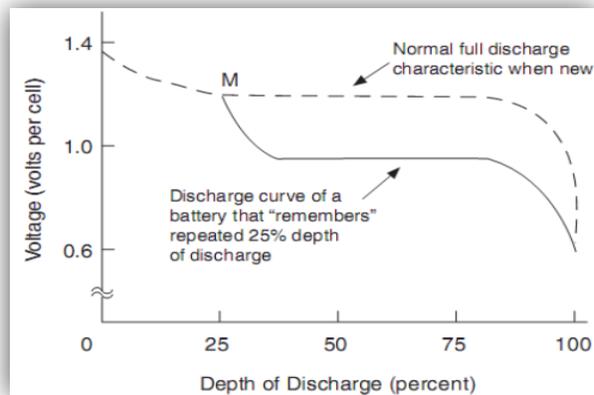


Figura 1.8 Grafica de autodescarga Ni-Cd

[1] Buchmann, 2003
 [2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
 [3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
 [4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías ácido-plomo usadas, 2013

✚ **Batería Nickel-Hidruro Metálico:** Es una extensión de la tecnología de Ni-Cd, ofrece una mayor densidad de energía y el ánodo es hecho de metal hidruro evitándolos problemas ambientales de la Ni-Cd. Además o es capaz de entregar alto picos de potencia, tiene un alto grado autodescarga y es muy peligrosa si es sobrecargada. Tiene una alta tasa de auto descarga. Aún es de precio elevado, aunque se estima que su costo disminuirá al producir vehículos eléctricos a gran escala. Dentro de estos incluyen todos los vehículos de propulsión totalmente eléctrica, híbridos y varios modelos de robot la utilizan entre ellos el prototipo humanoide ASIMO diseñado por Honda (Figura 1.9).



Figura 1.9 EL Robot ASIMO de Honda utiliza una batería Ni-HM

✚ **Batería Ion-Litio:** Es de una nueva tecnología, la cual ofrece una densidad de energía de 3 veces la de una batería Ácido-Plomo. Además cuenta con el más alto voltaje por celda 3.5V, lo cual reduce el número de celdas en serie para alcanzar cierto voltaje, lo que reduce su costo de manufactura. Tiene una muy baja tasa de autodescarga. Rápida degradación (vida útil muy corta) y sensibilidad a elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión. Requieren en su configuración como producto de consumo, la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, resultando en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones. Su uso se ha popularizado en aparatos como teléfonos móviles, agendas electrónicas, ordenadores portátiles y lectores de música. Las baterías de Ión-Litio al ser más compactas permiten manejar más carga, lo que hay que tener en cuenta para lograr automóviles eléctricos prácticos (Figura 1.10).

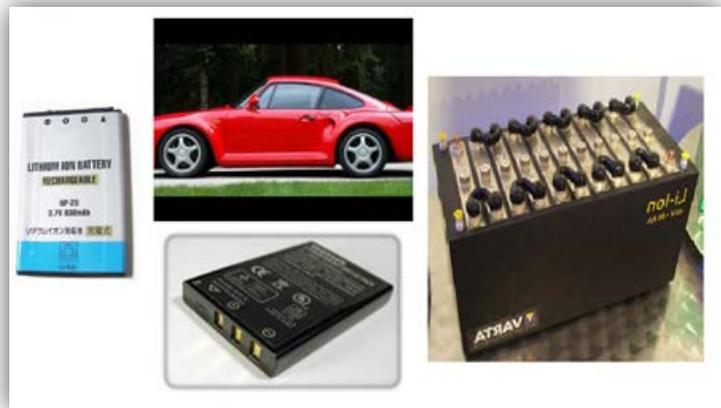


Figura 1.10 Algunas aplicaciones de la batería Ion-Litio

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

- ✚ **Batería de Polímero-Litio:** Es una batería de litio con un polímero sólido como electrolítico. Estas baterías tienen una densidad de energía de entre 5 y 12 veces las de Ni-Cd ó Ni-MH, a igualdad de peso. A igualdad de capacidad, las baterías de Li-Po son, típicamente, cuatro veces más ligeras que las de Ni-Cd de la misma capacidad. La ventaja de estas baterías es que requieren un trato mucho más delicado o, incluso, llegara producir su explosión.



Figura 1.11 La marca Apple utiliza en sus dispositivos baterías Li-Po

Un elemento de Li-Po tiene un voltaje nominal, cargado, de 3.7V. Nunca se debe descargar una batería por debajo de 3V por celda ya que puede sufrir un daño importante la batería así también nunca se la debe cargar más allá de 4.3V por celda porque una sobrecarga podrá dañar el equipo.

La Figura 1.11 muestra dispositivos de la marca Apple, usa la tecnología de las baterías de polímero litio en iPod o iPhone.

1.3. Baterías Ácido-Plomo [3]

El tipo de acumulador más usado en el presente, dado su bajo costo, es la batería de plomo (rejillas cubiertas por este metal) y ácido sulfúrico con electrolito líquido. Se usan en muchas aplicaciones donde el costo es más importante que el espacio y el peso, ejemplo típico son las baterías para UPS y las alarmas. En ella, los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico.

Este tipo de baterías se les puede cargar indefinidamente mientras que el voltaje de la celda nunca exceda las especificaciones del fabricante.

1.3.1. Clasificación y Tipos de Baterías Ácido-Plomo [4]

Las baterías se clasifican según su aplicación o según su construcción. Según su uso, las baterías se clasifican en:

- ✚ **Baterías de Arranque o SLI:** diseñadas especialmente para arrancar los motores de combustión, son utilizadas en automóviles, camiones, motos, tractores y aeronaves, entre otros. Las baterías de arranque están diseñadas para suministrar gran intensidad de corriente en pocos segundos y resistir profundidades de descarga no mayores del 10-20%.
- ✚ **Baterías de Tracción:** especialmente construidas para suministrar energía a vehículos eléctricos tales como grúas y apiladores eléctricos, carros de golf y sillas de rueda. Las baterías de tracción están diseñadas para suministrar cantidades relativamente bajas de corriente por largos períodos de tiempo, soportando un elevado número de ciclos profundos de carga y descarga.

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013



- ✚ **Baterías Estacionarias o de Reserva:** diseñadas para aplicaciones en sistemas de alarma de incendios, alumbrado de emergencia, sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) y telecomunicaciones, entre otros. Las baterías estacionarias están constantemente siendo cargadas (carga de flotación) para compensar la pérdida de capacidad debido a la autodescarga, y están construidas para resistir descargas profundas esporádicas.

Alternativamente, se pueden clasificar en baterías de arranque y baterías de ciclo (o ciclado) profundo, siendo estas últimas aquellas que están especialmente diseñadas para soportar un alto número de descargas de hasta un 80%. Las baterías “marinas” son un híbrido entre ambos tipos de batería.

Según la tecnología de fabricación empleada, se distinguen:

- ✚ **Batería Abierta o Ventilada:** Las baterías abiertas son las más convencionales y se caracterizan por tener orificios de acceso a su interior con tapones removibles, los cuales permiten la verificación del nivel y gravedad específica del electrolito, la eventual reposición del agua perdida, y que los gases producidos en su interior pueden escapar a la atmósfera. Invariablemente, el electrolito en estas baterías se encuentra en estado líquido. Las baterías abiertas, dependiendo del fabricante, pueden suministrarse en las siguientes condiciones: cargadas y llenas con electrolito o cargadas y secas (sin electrolito). Las baterías abiertas de plomo-calcio son clasificadas como “libre mantenimiento” y las de plomo-selenio como “bajo mantenimiento”.
- ✚ **Batería Sellada o Regulada por Válvula (VRLA):** Batería en la que el escape de los gases producidos por la electrólisis del electrolito es controlado automáticamente por una válvula sensitiva a la presión. Las baterías selladas emplean placas de plomo-calcio y son de “libre mantenimiento” (SMF).

Según el estado en que se encuentre el electrolito, las baterías selladas se clasifican en: baterías de gel y baterías de electrolito absorbido (AGM). Las baterías de recombinación (de gel o AGM) son aquellas que, mediante un proceso electroquímico, el oxígeno y el hidrógeno producidos internamente vuelven a combinarse formando agua para reincorporarse de nuevo a su celda; la recombinación tiene típicamente una eficiencia del 99%, luego casi no hay pérdida de agua.

Las baterías selladas ofrecen algunas ventajas técnicas sobre las abiertas, como la ausencia de fugas de electrolito, mínima emisión de gases, nula posibilidad de contaminación del electrolito y bajos requerimientos de mantenimiento. Sin embargo, también presentan limitaciones como un menor número de ciclos, la imposibilidad de reponer el agua perdida por exceso de sobrecarga, la imposibilidad de verificar en forma confiable su estado de carga, y en algunos casos su mayor sensibilidad a la temperatura de operación.

[1] Buchmann, 2003

[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010

[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010

[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

A continuación se muestra en la Tabla 1.2 la vida útil de cada una.

Batería	Expectativa de vida [años]	Expectativa de vida [ciclos]
SLI	5 – 7	200 – 700
De ciclo profundo	3 – 5	1500
Estacionarias	15 – 30	-
VRLA	5 – 10	250 – 500

Tabla 1.2. Vida útil de las baterías Ácido-Plomo respecto a los ciclos de carga

1.3.2. Características Técnicas de las Baterías Ácido-Plomo [4]

En la Figura 1.12 se representa una batería de ácido-plomo, donde se distinguen los siguientes componentes:

✚ **Electrolito:** Solución diluida de ácido sulfúrico en agua (33.5% aproximadamente) que puede encontrarse en tres estados: líquido, gelificado o absorbido.

✚ **Placas o electrodos:** Estas se componen de la materia activa y la rejilla. La materia activa que rellena las rejillas de las placas positivas es dióxido de plomo, en tanto la materia activa de las placas negativas es plomo esponjoso.

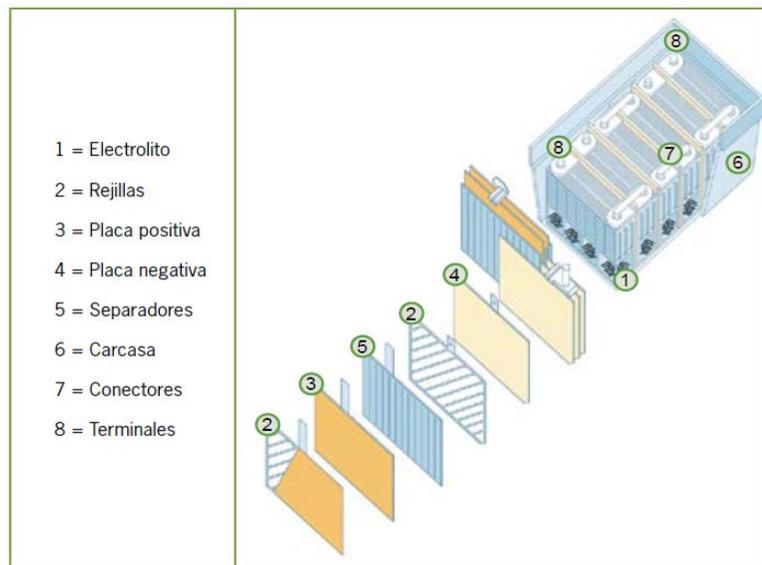


Figura 1.12. Estructura interna de las baterías Acido-Plomo

En estas últimas también se emplean pequeñas cantidades de sustancias tales como sulfato de bario, negro de humo y lignina. Se distinguen las placas Planté y las placas empastadas; éstas últimas pueden ser planas o tubulares.

Se distinguen las placas Planté y las placas empastadas; éstas últimas pueden ser planas o tubulares.

✚ **Rejillas:** La rejilla es el elemento estructural que soporta la materia activa. Su construcción es a base de una aleación de plomo con algún agente endurecedor como el antimonio o el calcio. Otros metales como el arsénico, el estaño, el selenio y la plata son también utilizados en pequeñas cantidades en las aleaciones. Las rejillas se fabrican en forma plana o tubular.

✚ **Separadores:** Los separadores son elementos de material micro poroso que se colocan entre las placas de polaridad opuesta para evitar un corto circuito. Entre los materiales utilizados en los separadores tipo hoja se encuentran los celulósicos, los de fibra de vidrio y los de PVC (Plori Cloruro de Vinilo). Los materiales utilizados en los separadores tipo sobre son poliméricos siendo el más utilizado el PE (Polietileno).

[1] Buchmann, 2003

[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010

[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010

[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013



- ✚ **Carcasa:** Es fabricada generalmente de PP (Polipropileno) y en algunos casos de ebonita (caucho endurecido); en algunas baterías estacionarias se utiliza el estireno acrilonitrilo (SAN) que es transparente y permite ver el nivel del electrolito. En el fondo de la carcasa o caja hay un espacio vacío que actúa como cámara colectora de materia activa que se desprende de las placas.
- ✚ **Conectores:** Piezas destinadas a conectar eléctricamente los elementos internos de una batería; están hechos con aleaciones de plomo-antimonio o plomo-cobre.
- ✚ **Terminales:** Bornes o postes de la batería a los cuales se conecta el circuito externo. Generalmente las terminales se fabrican con aleaciones de plomo.

La composición en peso de una batería se presenta en la Tabla 1.3

Plomo (plomo, dióxido de plomo, sulfato de plomo)	65-75%
Electrolito (ácido sulfúrico)	15-25%
Separadores de plástico	5%
Caja de plástico	5%

Tabla 1.3. Composición en peso de una batería Ácido-Plomo

Los acumuladores de plomo tienen numerosas aplicaciones y sus pesos abarcan, por ejemplo, desde 0.3 kg (baterías para UPS) hasta 10kg (bancos de baterías que proporcionan energía de respaldo a equipos de telecomunicaciones). Las de mayor consumo en número son las baterías de automóviles que pesan en promedio 18 kg.

1.3.3. Funcionamiento de la Batería Ácido-Plomo en Carga / Descarga [3] [4]

Cuando la batería está cargada, el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo y el electrodo negativo de plomo. En la descarga se produce la disociación del ácido sulfúrico de manera que el dióxido de plomo y el plomo se transforman gradualmente en sulfato de plomo. También se forma agua, con lo cual el electrolito va disminuyendo su densidad y quedando menos ácido.

De esta manera, cuando el acumulador está descargado, la masa activa de las placas es en gran parte sulfato de plomo y el electrolito está constituido por una disolución de ácido sulfúrico, cuya densidad ha disminuido aproximadamente desde 1,28 g/cm a 1.10 g/cm.

Durante la carga, el paso de la corriente hace que en las placas se produzca la disociación del sulfato de plomo, mientras que en el electrolito se produce la electrólisis del agua conduciendo a la liberación de hidrógeno y oxígeno, y la consiguiente disminución del volumen de agua.

[1] Buchmann, 2003

[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010

[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010

[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

En esta situación el sulfato de plomo de la placa positiva se transforma en dióxido de plomo y el de la placa negativa en plomo; además se forma ácido sulfúrico nuevamente y aumenta la densidad del electrolito. La Figura 1.13 y 1.14 ilustran estos dos estados.

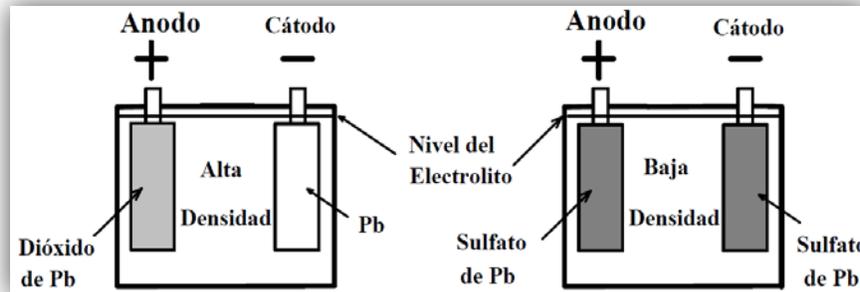


Figura 1.13. Batería Cargada

Figura 1.14. Batería Descargada

Por otro lado, el voltaje de salida de una batería de Pb-ácido no permanece constante durante la carga o descarga. Dos variables determinan su valor: el estado de carga y la temperatura del electrolito. Las curvas de la **Figuras 1.15 y 1.16** muestran estas variaciones de voltaje en una batería de 12V, tanto para el proceso de carga como para el de descarga. Los valores están dados usando diferentes valores de corriente, para dos temperaturas de trabajo: 25°C y 1°C, respectivamente. Las curvas a 25°C reflejan el comportamiento de una batería trabajando en un ambiente con temperatura benigna. Las curvas a 1°C reflejan el comportamiento de la misma batería cuando la temperatura del electrolito es cercana al punto de congelación del agua.

A continuación se explican las curvas de carga y descarga:

- + **Curva de Carga (Figura 1.15):** Para la carga, se observa que el voltaje correspondiente a un dado estado y corriente de carga, es siempre menor cuando la temperatura disminuye. Es conveniente cargar una batería con un nivel de corriente que no exceda el máximo dado por el fabricante. El tiempo de carga, multiplicado por la corriente de carga debe ser un 15% mayor al número de Ah de la batería, para compensar por las pérdidas durante el proceso de carga.
- + **Curva de Descarga (Figura 1.16):** Muestran que a baja temperatura la caída de voltaje es mucho más severa que la que se observa, para la misma corriente, a 25°C. La baja temperatura retarda la reacción química, lo que se traduce en un brusco aumento de la resistencia interna de la batería, lo que provoca una mayor caída del voltaje. Se observa, que si se mantiene constante la temperatura del electrolito, la caída de voltaje es siempre mayor (aumento de la resistencia interna) cuando la corriente de descarga aumenta.

[1] Buchmann, 2003

[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010

[3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010

[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

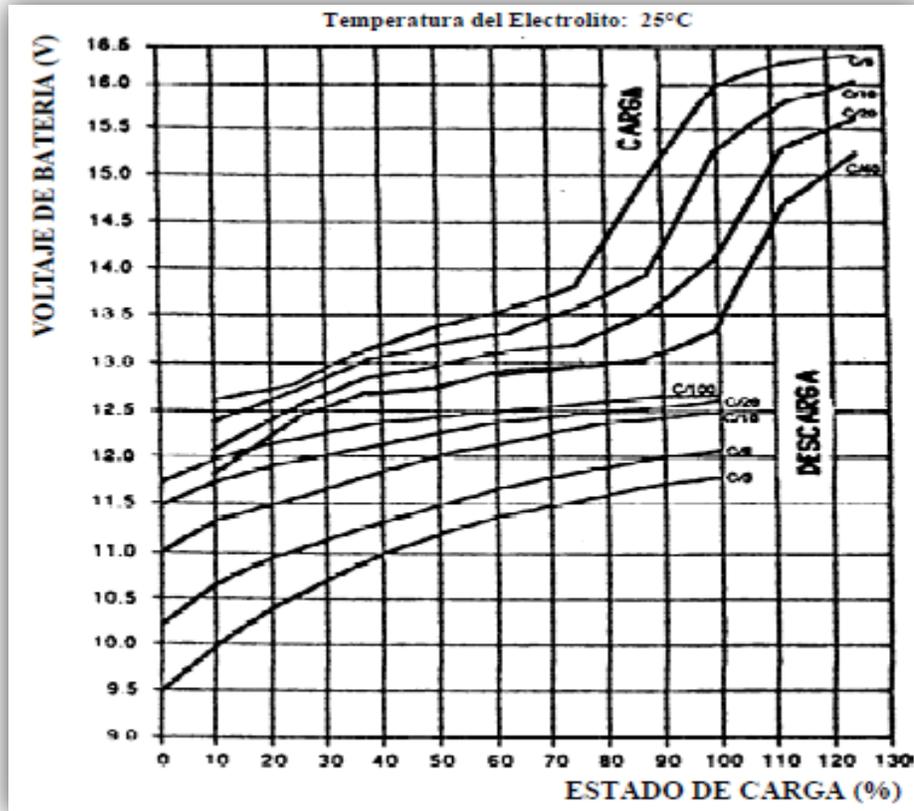


Figura 1.15. Variación de Voltaje en una Batería Ácido-Plomo

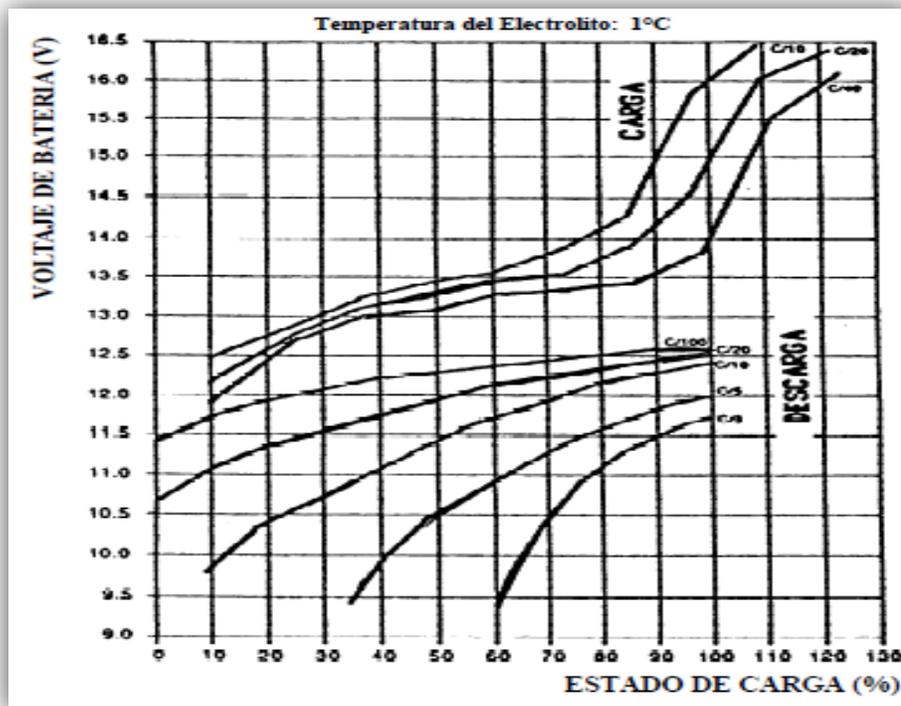


Figura 1.16. Variación de Voltaje en una Batería Ácido-Plomo

[1] Buchmann, 2003
 [2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
 [3] Anónimo, La Batería de Ácido-Plomo, 2010
 [4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías acido-plomo usadas, 2013

1.3.4. Problemas que presenta la Batería Ácido-Plomo durante largos periodos de Carga / Descarga [3]

Se mencionan a continuación los problemas que puede llegar a tener un acumulador durante largos períodos de carga o descarga:

✚ **Congelación del Electrolito:** Un problema que suele presentarse cuando la temperatura del electrolito alcanza los 0°C está relacionado con el estado de carga de la batería. Si ésta está prácticamente descargada, la cantidad de agua en la solución electrolítica es mayor, como indicamos anteriormente. Al bajar la temperatura del electrolito existe la posibilidad de que el agua se congele. Si esto ocurre, su volumen aumenta. La fuerza de esta expansión distorsiona los electrodos, pudiendo dañar las celdas o quebrar la caja. El ácido del electrolito actúa como anticongelante, de manera que es extremadamente importante mantener la carga de las baterías cuando la temperatura de trabajo disminuye (Tabla 1.4).

Estado de Carga %	Temperatura de Congelamiento del Electrolito °C
100%	- 58,0
75%	- 34,4
50%	- 20,0
25%	- 15,0
Descargada	- 10,0

Tabla 1.4. Punto de congelación de una batería Acido-Plomo

✚ **Temperatura Elevada:** Si las bajas temperaturas causan tantos problemas, se puede concluir que las temperaturas ambientes elevadas son las ideales. La conclusión es errónea, pues la mayor actividad química se traduce en una reducción en la vida útil de una batería de Ácido-Plomo, como lo muestra la Tabla 1.5

TEMPERATURA °C	REDUCCION DE LA VIDA UTIL %
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95

Tabla 1.5. Relación de altas temperaturas con la vida útil de la batería Acido-Plomo

✚ **Gasificación:** Cuando una batería de ácido-plomo está próxima a alcanzar el 100% de su carga, la cantidad de agua en el electrolito ha sido severamente reducida. Los iones que ésta provee se hacen más escasos, disminuyendo la posibilidad para el ión de hidrógeno (electrodo negativo) y para el ión de oxígeno (electrodo positivo) de reaccionar químicamente, formando plomo y dióxido de plomo, respectivamente. Si la corriente de carga continúa al mismo nivel, el exceso de gases escapa del electrolito produciendo un intenso burbujeo, el que se conoce como “gasificación”. Si el proceso de carga no es controlado puede causar un fenómeno conocido como la “muerte súbita” de la batería, ya que ocurre sin dar previo aviso. Una gasificación excesiva arrastra parte del electrolito, el que es expulsado.

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Acido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías ácido-plomo usadas, 2013

- ✚ **Sulfatación:** Si, la batería ha sido descargada repetidas veces por debajo del mínimo especificado, es pobremente cargada, o permanece descargada por largo tiempo, el tamaño de los cristales crece, y sólo una parte de ellos interviene en el proceso de carga. Esto se traduce en una disminución de la superficie activa del electrodo, disminuyendo la capacidad de almacenaje. Este fenómeno se lo conoce con el nombre de sulfatación de la batería.
- ✚ **Autodescarga:** Una batería que está cargada y permanece inactiva, independientemente de su tipo, pierde su carga con el tiempo. Este fenómeno es conocido como autodescarga. La rapidez de la descarga depende de la temperatura ambiente y del tipo de batería.
- ✚ **Envejecimiento:** Con el tiempo, las baterías pierden la capacidad de acumular carga, ya que con cada descarga se pierde algo del material activo. Sin embargo, la vida útil de las mismas puede ser prolongada si se las mantiene cargadas, no se sobrecargan ni descargan en exceso, permanecen en un lugar que no sufre temperaturas extremas y no son sometidas a cortocircuitos.

1.4. Ventajas y Desventajas de las Baterías Ácido-Plomo comparada con otras Baterías [2]

Como se explico en los puntos anteriores, la tecnología con la que son elaboradas las baterías muestran ventajas y desventajas sobre la batería Ácido-Plomo, siendo unas idóneas para ciertas aplicaciones sobre otras, recapitulando lo anterior se tiene (Tabla 1.6):

Nombre de la Batería	Ventajas	Desventajas
Ni-Cd	Moderada densidad energética.	Alta tasa de descarga. Metales Tóxicos. No soportan altas temperaturas.
Ni-MH	Densidad energética alta. No contienen metales tóxicos.	Susceptibles a cambios bruscos de temperatura
Li-Po	Peso muy reducido.	Requieren un circuito extra para limitar su corriente.
Ácido-Plomo	Económicas. Reciclables. Proveen grandes cantidades de energía.	Contaminantes.

Tabla 1.6. Ventajas y desventajas de las Baterías unas respecto a otras.

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Acido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías ácido-plomo usadas, 2013

En la siguiente Tabla 1.7 se ofrece una comparativa de las distintas tecnologías:

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-50 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h	20 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10%

Tabla 1.7. Comparación de la batería Acido-Plomo con otras baterías

Otra forma comparativa entre baterías es mediante una grafica, en la cual podemos ver la energía y densidad específica de cada acumulador (Figura 1.17).

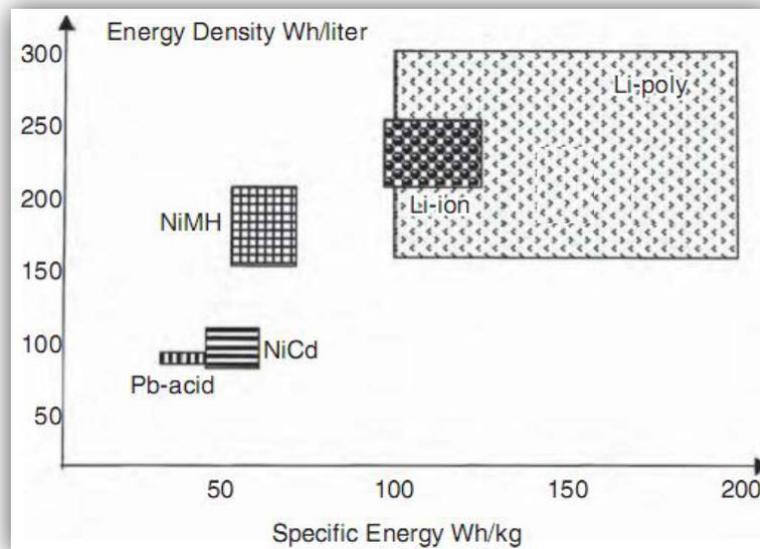


Figura 1.17. Energía y densidad específica de varias baterías

Se demuestra que tanto las baterías Li-Ion y Li-Po son las adecuadas ya que una alta retención de la carga, así como su peso y tamaño las hacen fáciles de transportar y utilizar en dispositivos pequeños, el inconveniente de estos acumuladores es que requieren un circuito extra de protección ya que en una descarga pueden dañar el equipo.

[1] Buchmann, 2003
 [2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
 [3] Anónimo, La Batería de Acido-Plomo, 2010
 [4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías ácido-plomo usadas, 2013



Por otro lado, las baterías Ni-Cd tienen un número limitado de recargas, requieren más cuidado por parte del usuario y contienen materiales tóxicos, lo que la hace muy selectiva en la aplicación que se usará, más sin embargo, la Ni-MH es muy amigable con el ambiente ya que no contiene materiales tóxicos, pero tiene el inconveniente de una tasa mensual de autodescarga mensual del 20% de hecho, este acumulador a sido poco a poco desplazado por las de Li-Ion.

Finalmente, la batería Ácido-Plomo es de las más comerciales, aunque no tiene las ventajas que las baterías de litio, ofrece una tasa promedio de descarga del 5% mensual, un número de recargas de 1000 y tal vez más si se le da el cuidado adecuado para extender su vida útil, además de que tiene una gama extensa de acumuladores de su tipo.

En conclusión del Capítulo I, se decide escoger la Batería Ácido-Plomo ya que para este proyecto es la indicada para la aplicación. Así, en el Capítulo II se analizará cual es el método ideal de carga para esta batería con la finalidad de prolongar su vida útil.

[1] Buchmann, 2003
[2] Anónimo, Tecnología de las Baterías, 2010
[3] Anónimo, La Batería de Acido-Plomo, 2010
[4] Chile, Guía técnica sobre manejo de baterías ácido-plomo usadas, 2013

2

Análisis y Operación de un Cargador de Baterías

- Definición de un Cargador de Baterías
- Métodos de Carga para una Batería Ácido-Plomo
- Técnicas de Carga para una Batería Ácido-Plomo
- Etapas de Carga para una Batería Ácido-Plomo
- Problemas Típicos de los Cargadores Ácido-Plomo

ANÁLISIS Y OPERACIÓN DE UN CARGADOR DE BATERÍAS

Este capítulo tiene como finalidad conocer mejor las distintas formas que existen para cargar una batería, y los tipos de cargadores que existen para ello, muchas veces se piensa que cualquier cargador es bueno, sin embargo observaremos que se requiere de todo un procedimiento por etapas para cargar una batería eficientemente.

2.1. Definición de un Cargador de Baterías

Un cargador de baterías, es un dispositivo que se utiliza para almacenar energía en un acumulador secundario, o recargable, mediante la conexión a un sistema productor o transmisor de electricidad (Figura 2.1). Los cargadores actuales presentan diferentes diseños y cubren distintas funciones de

acuerdo con la corriente de carga de entrada o del formato de la batería que se quiere utilizar



Figura 2.1 Ejemplo de Cargador para baterías Ácido-Plomo.

Los cargadores de baterías que actualmente se encuentran en el mercado son alrededor de una decena de tipos, que cubren las necesidades de las aplicaciones domésticas e industriales y cuyo desarrollo se orienta hacia la mejora de las capacidades de carga, la prolongación de la vida útil de la batería y la seguridad y sencillez de empleo. [5]

Los cargadores de baterías podemos encontrarlos simples, de proceso lento, con temporizador de carga, los formatos llamados inteligentes, los denominados rápidos, los de pulso, los inductivos, los basados en conexiones USB, etc.

Se consigue a través de estos tipos de cargadores la transformación del sulfato de plomo presente en las placas, restituyendo el ácido sulfúrico a la solución electrolítica, que aumenta su peso específico (el estado de carga de una batería se puede controlar fácilmente con un densímetro: aquella disminuye con el peso específico de la solución electrolítica).

Desde el momento que la fuente de energía de que se dispone es la red de corriente alterna, se recurre a rectificadores de selenio o a los constituidos por diodos de silicio, que permiten el paso de la corriente en un solo sentido prefijado, por ejemplo el de las semi-ondas positivas exclusivamente. Dado que la tensión de la red tiene un valor notablemente superior al necesario, se hace uso de un transformador para reducir la tensión a valores comprendidos entre 13V y 18V. En serie con el circuito se monta una resistencia variable, con la misión de regular la intensidad de la corriente de carga. Conectando el polo positivo del cargador de baterías con el positivo de la batería, el negativo con el negativo y el primario del transformador con la red, la batería está a punto de ser cargada.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
[7] Sabelotodo.org, 2014
[8] Energicentro, 2007

El proceso se prolonga durante el tiempo necesario para que la solución electrolítica alcance el peso específico idóneo, o bien hasta que se comience a observar el desprendimiento de burbujas, de la solución (efecto debido al desprendimiento de hidrógeno o de oxígeno en la proximidad de las placas positivas y negativas, a causa de que la corriente de carga es superior a la necesaria para reducir las pequeñas cantidades de sulfato de plomo aún presentes en las placas).

Para conseguir una carga completa hay que limitar la intensidad de corriente; una carga excesivamente rápida provoca una elevación de temperatura de las placas, que pueden curvarse.

2.1.1. Tipos de Cargadores [5]

✚ **Sencillo (Figura 2.1.1A):** trabaja haciendo pasar una corriente continua o tensión continua. El cargador sencillo, no modifica su corriente de salida basándose en el tiempo de carga de la batería. Esta sencillez facilita que sea un cargador barato, pero también de baja calidad. Este cargador suele tardar bastante en cargar una batería para evitar daños por sobrecarga. Incluso así, una batería que se mantenga mucho tiempo en un cargador sencillo pierde capacidad de carga y puede llegar a quedar inutilizable.



Figura 2.1.1A Cargador sencillo. Aplica corriente y voltaje a las batería en todo momento, lo que podría dañarla si se deja conectado demasiado tiempo.

✚ **Mantenimiento:** un cargador de mantenimiento, es un tipo de cargador sencillo que carga la batería muy despacio, a la velocidad de auto descarga; es el tipo de cargador más lento. Una batería puede dejarse en un cargador de este tipo por tiempo indefinido, manteniéndose cargada por completo sin riesgo de sobrecarga o calentamiento. Está indicado para el mantenimiento de la fuente de energía de sistemas desatendidos, como sistemas de alarma o de iluminación de emergencia.

✚ **Con Temporizador [5]:** La corriente de salida de un cargador de este tipo se corta tras un tiempo predeterminado (Figura 2.1.1.B). Estos cargadores fueron los más comunes para baterías Ni-Cd de alta capacidad a finales de la década de 1990. (Para las pilas de consumo Ni-Cd, de baja capacidad, se suele usar un cargador sencillo). Es frecuente encontrar a la venta este tipo de cargadores junto a un paquete de pilas. El tiempo de carga viene configurado para ellas. Si se utilizan en ellos otras pilas de menor capacidad, podrían sufrir una sobrecarga. Por otro lado, si se cargan pilas de mayor capacidad que las originales solo quedarán cargadas parcialmente. Los avances en este tipo de tecnología incrementan la capacidad de las pilas cada década, por lo que un cargador antiguo puede que solo cargue parcialmente las pilas actuales.

Los cargadores basados en un temporizador tienen también el inconveniente de provocar sobrecargas en pilas que, aun siendo las adecuadas, no están totalmente descargadas cuando se ponen a cargar. La corriente de salida de un cargador de este tipo se corta tras un tiempo

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
[7] Sabelotodo.org, 2014
[8] Energicentro, 2007

predeterminado. Estos cargadores fueron los más comunes para baterías Ni-Cd de alta capacidad a finales de la década de 1990. (Para las pilas de consumo Ni-Cd, de baja capacidad, se suele usar un cargador sencillo).

Es frecuente encontrar a la venta este tipo de cargadores junto a un paquete de pilas. El tiempo de carga viene configurado para ellas. Si se utilizan en ellos otras pilas de menor capacidad, podrían sufrir una sobrecarga. De otro lado, si se cargan pilas de mayor capacidad que las originales solo quedarán cargadas parcialmente.

Los avances en este tipo de tecnología incrementan la capacidad de las pilas cada década, por lo que un cargador antiguo puede que solo cargue parcialmente las pilas actuales.



Figura 2.1.1 B Cargadores con Temporizador. Este tipo de cargadores cortan el suministro de corriente en un tiempo determinado.

Inteligente [5]: Los cargadores inteligentes son, en su género, los más efectivos ya que puede controlar la tensión de batería, la temperatura y el tiempo de carga para determinar el nivel óptimo de corriente que se necesita para la recarga. De este modo, incluso en las baterías del tipo Ni-Cd y las del formato Ni-MH, el voltaje introducido en las baterías aumenta lentamente durante el proceso de carga hasta que la batería está completamente cargada. Después, la tensión disminuye y el cargador deja de cargar porque está completada la carga de energía.

Estos cargadores reciben la denominación de 'delta-V' porque su referencia de recarga es el voltaje. Un problema común con estos cargadores es que la cuantificación de voltaje puede llegar a ser muy variable, incidiendo sobre la eficiencia misma del sistema de recarga. Así, se llegan a dar casos en cargadores inteligentes que continúan cargando después de haber completado toda la carga de la batería.

La solución de algunos fabricantes para estos casos anómalos ha sido el diseño de diferentes modos de corte de energía para evitar sobrecargas. (Figura 2.1.1 C)



Figura 2.1.1.C Etapas de Cargado. Un cargador inteligente respeta cada una de las etapas mostradas en la figura.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
 [6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
 [7] Sabelotodo.org, 2014
 [8] Energicentro, 2007

- Rápido:** un cargador rápido puede usar el circuito de control de la propia batería para conseguir una carga rápida de ésta sin dañar los elementos de sus pilas. Muchos de estos cargadores disponen de un ventilador para mantener la temperatura controlada. Suelen actuar como un cargador normal -carga en una noche- si se usan con pilas normales de Ni-MH, que no tienen un circuito de control
- Por pulsos:** algunos cargadores usan tecnología de carga por pulsos (Figura 2.1.1.D), en la cual se aplica un tren de pulsos de corriente continua a la batería, cuyo tiempo de subida, período, frecuencia y amplitud son controlados con gran precisión. Esta tecnología funciona con baterías de cualquier tamaño, voltaje, capacidad o composición química. Empleando la carga por pulsos se pueden aplicar picos de alto voltaje sin sobrecalentar la batería. En una batería de ácido-plomo, esto descompone los cristales de sulfato de plomo, extendiendo la vida útil de la batería. Algunos cargadores utilizan pulsos para comprobar el estado de la batería únicamente al conectar el cargador, luego continúan cargando a corriente constante durante el periodo de carga rápida y finalmente vuelven a utilizar la carga por pulsos cada cierto tiempo para mantener la carga.



Figura 2.1.1.D Cargador a Pulsos. Una de las ventajas de los cargadores de pulso es que se evitan los riesgos de sobrecalentamiento de las baterías.

- Inductivos:** los cargadores inductivos, hacen uso de la inducción electromagnética para cargar las baterías. Una estación de carga envía energía electromagnética por acoplamiento inductivo a un aparato eléctrico, el cual almacena esta energía en las baterías (Figura 2.1.1 E).

La carga se consigue sin que exista contacto físico entre el cargador y la batería. Es el sistema de carga, más utilizado en cepillos de dientes eléctricos; debido a que no existe contacto eléctrico con la línea y por lo tanto no hay peligro de electrocución.



Figura 2.1.1.E Cargador Inductivo. Energizer presenta nuevo cargador por inducción electromagnética.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
 [6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
 [7] Sabelotodo.org, 2014
 [8] Energicentro, 2007



2.2. Métodos de Carga para una Batería Ácido-Plomo [6]

Para realizar la carga de una batería, se debe hacer pasar por ésta una corriente eléctrica desde una fuente externa de corriente directa (CD). Durante el proceso de carga, se debe introducir la cantidad de carga necesaria, en Amperes-Hora, para que la batería quede completamente cargada. Al completar el proceso de carga, cada celda posee un voltaje de aproximadamente 2.2V para obtener un total de 13.2V por batería de 6 celdas.

Cabe mencionar, que al aumentar el tiempo de carga, la tensión de carga también aumentará, hasta alcanzar el valor de saturación, que para las baterías de ácido-plomo, es de 2.4 (V/celda). Al finalizar el proceso de carga, el voltaje en bornes vuelve a bajar a aproximadamente 2.2 (V/celda). Es importante que la batería no esté expuesta a un voltaje superior a 2.4 (V/celda) durante mucho tiempo, pues además de la carga, se produce descomposición electrolítica del agua, quedando libres hidrógeno y oxígeno.

Es necesario que las baterías siempre se carguen completamente ya que una carga incompleta puede provocar un desgaste prematuro en las baterías, puesto que las placas no se transformarán completamente en dióxido de plomo y plomo esponjoso. El sulfato de plomo restante se acumula y taponea los poros, con lo que se reduce el rendimiento de la batería y su vida útil.

Hay diferentes métodos para recargar las baterías que difieren básicamente en el régimen de carga. Dentro del proceso de carga, las variables principales que intervienen son el voltaje, la corriente y la temperatura, siendo esta última la que más afecta a los componentes internos de la batería, por eso existen límites de operación como es la de no exceder un máximo de temperatura de 55°C, ya que a temperaturas superiores a ésta causarían el daño interno de la batería.

2.2.1. Método de Recarga Lenta

Consiste en aplicar a la batería cantidades pequeñas de energía (amperes), de ésta manera se evita producir el sobrecalentamiento excesivo en la batería. Por este hecho se dice que éste método es uno de los mejores y únicos procedimientos para recargar completamente una batería.

Dependiendo de la descarga que presente el acumulador, el tiempo estimado de carga varía según la cantidad de energía (amperes) suministrada a la batería. Comúnmente, para cargar baterías con el método de carga lenta, se conectan varias baterías (serie/paralelo).

2.2.2. Método de Recarga Rápida

En ciertas ocasiones se hace necesario la recarga rápida de una batería, pero aplicando éste método, el acumulador no queda cargado completamente debido a que éste procedimiento produce solo una carga superficial, dando como resultado el incremento acelerado de la temperatura interna, lo cual produce un estado transitorio de activación energética y por ende cuando se termina de aplicar la carga, la batería vuelve a perder la energía adquirida.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
[7] Sabelotodo.org, 2014
[8] Energicentro, 2007



2.3. Técnicas de Carga para una Batería Ácido-Plomo

Las Baterías de Ácido-Plomo requieren para su carga un tratamiento diferente a las baterías recargables comunes como las de Ni-Cd y Ni-MH, la principal diferencia es que para las de ácido-plomo se utilizan voltajes fijos a cambio de corrientes fijas.

Para establecer una técnica de carga, hay que tomar en cuenta que las baterías no son 100% eficientes ya que siempre en cada ciclo de carga y descarga algo de energía se pierde en forma de calor y en las reacciones químicas producidas. Cargas y descargas de tasas lentas son más eficientes. Las baterías de ácido-plomo tienen una eficiencia típica de entre 85% y 95% y en general, a medida que su vida útil disminuye, la batería disminuye su eficiencia. [6]

Cualquier técnica de carga para una batería de ácido-plomo, así como su algoritmo de control, se relaciona directamente con la temperatura, la corriente y la tensión aplicadas al acumulador.

2.3.1. Sobrecarga

La sobrecarga es la aplicación de elevadas corrientes y voltajes a la batería durante excesivos periodos de tiempo, la sobrecarga genera el deterioro de la batería. Este largo período puede ser continuo o intermitente. Al entregar elevadas corrientes para realizar la recarga de una batería, se afecta a la velocidad de la producción de las reacciones químicas que ocurren en el interior del acumulador; por ende al exceder la velocidad propia que tienen cada una de las reacciones, se origina una cierta cantidad de energía la cual es transformada en calor.

En ciertos tipos de baterías en las cuales existe una alta resistencia térmica, el calor generado internamente en las placas por la circulación de corriente elevadas es muy difícil de dispersarse, esto provoca el incremento de temperatura en el interior del acumulador y como resultado de este fenómeno se produce una gasificación excesiva.

Así mismo, la elevación de la temperatura, además de provocar un daño a los componentes químicos de las rejillas, llevándolas a la corrosión, las deforma y aún provoca la quemadura de los separadores, resultando en la destrucción de la batería.

Normalmente, el voltaje permitido antes de que ocurra un sobrecalentamiento en la batería se encuentra en el rango de entre los 13.5V y 14.5V, provocando de esta forma una sobrecarga.

2.3.2. Carga a Voltaje constante con limitación de Corriente

Este método de carga es uno de los más convenientes y más frecuentemente usado para realizar la recarga de baterías de ácido-plomo. “Las celdas de la batería dividen la tensión y ecualizan la carga entre ellas. Es importante limitar la corriente inicial de carga para evitar que se dañe la batería.

Con esta técnica se puede lograr el deseado balance de una carga rápida sin dañar o sobrecargar la batería”. [7]

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
[7] Sabelotodo.org, 2014
[8] Energicentro, 2007



La carga de baterías de ácido-plomo se logra aplicando a la batería un voltaje constante de 2.4V por celda (Ej. Para una batería de 12V, que tiene 6 celdas serán 14.4V), con una temperatura ambiente de 20°C a 25°C. La carga estará completa cuando la corriente sigue siendo estable por algún tiempo.

Los cargadores de voltaje constante entregan una corriente alta inicialmente a la batería debido a la gran diferencia de potencial entre la batería descargada y el cargador. Aquí se restablece aproximadamente un 70% de una descarga en los primeros 30 minutos. Como la batería se carga, su voltaje se incrementa rápidamente, esto reduce el potencial que suministra la corriente, con el correspondiente decremento de la corriente de carga. Como resultado, aun cuando la batería alcanzó rápidamente una carga parcial, para obtener una carga completa se requiere tiempos más prolongados de carga. [7]

2.3.3. Carga a Voltaje y Corriente Constante

En este método se carga la batería controlando la corriente a 0.4A y el voltaje a 2.45V por celda, con una temperatura ambiente de 20°C a 25°C; por un tiempo entre 6 a 12 horas dependiendo de estado de descarga de la batería.

2.3.4. Carga Rápida

Como su nombre lo indica, la carga rápida, consiste en devolver la energía a la batería, en el menor tiempo posible. El procedimiento consiste en aplicar una corriente elevada en un corto periodo de tiempo, pero por lo dicho anteriormente en base a los problemas de la sobrecarga, una carga rápida adecuada, no debe durar más allá de media hora.

2.3.5. Carga con Corriente Constante

Este tipo de carga consiste en entregar corrientes relativamente uniformes, sin considerar el estado de la carga de la batería. El proporcionar una corriente constante ayuda a eliminar los desbalances de las celdas y baterías conectadas en serie. Es decir se lo utiliza más para cargar una simple celda de 2V, pero no es recomendado para cargar celdas en serie al mismo tiempo, esto debido a que las celdas de las baterías no reaccionan de igual manera durante el proceso de carga ya que algunas celdas pueden cargarse por completo antes que otras. Esto dificulta conocer cuando una batería ha llegado a su estado completo de carga.

2.3.6. Flotación

La mejor forma de mantener la carga constante de una batería y evitar su autodescarga una vez que esta se ha cargado completamente, es aplicar un voltaje constante (Figura 2.3.6) a los terminales de dicha batería. Esto se realiza aplicando un nivel de voltaje adecuado, el cual es ligeramente mayor (entre 0.2V y 0.6V más) al voltaje de las batería totalmente cargada, este voltaje permite entregar una corriente de alrededor de 1% o menos de la capacidad de la batería.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
[7] Sabelotodo.org, 2014
[8] Energicentro, 2007

Es decir los cargadores flotantes son comúnmente cargadores de voltaje que operan a baja tensión, usualmente a menos de 2.4V por celda, manteniendo la corriente de carga baja para compensar únicamente la descarga ocasional de la batería cuando ésta se encuentra fuera de servicio.

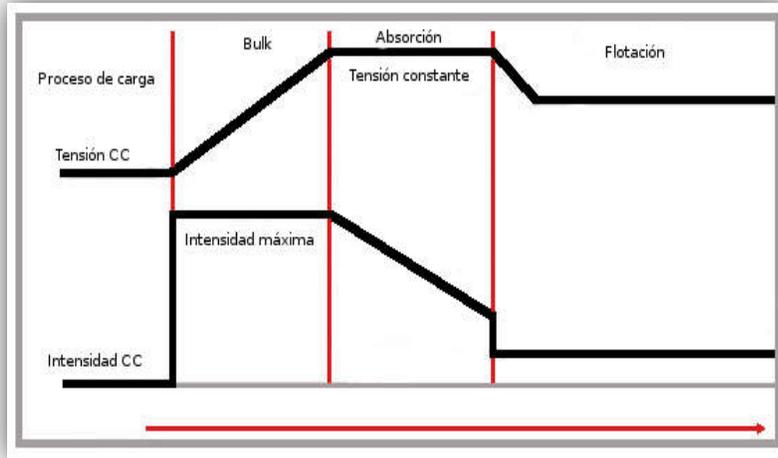


Figura 2.3.6 Representación de Etapas. Se observa que en la etapa de flotación la tensión permanece constante.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
[7] Sabelotodo.org, 2014
[8] Energicentro, 2007

2.4. Algoritmo de Carga [8]

El algoritmo de carga, (Figura 2.4) es el método por el cual el cargador de baterías restablece la carga a la batería. Es decir son las técnicas de como el cargador controla: el voltaje que se aplica, la corriente de carga que se suministra, los tiempos asociados a los distintos procesos o etapas y sin dejar de lado el control de la temperatura en los bornes de la batería.

Dentro de un algoritmo específico de carga elegido, existen varias etapas que determinan el ciclo de carga de una batería. Estas etapas pueden dividirse en ciclos de 2, 3, 4 o 5 y hasta de algunas combinaciones de estas. Para escoger el mejor algoritmo, se debe tomar en cuenta el tipo de batería con la cual se está trabajando, a demás cada fabricante recomienda ciertos procedimientos que ayudan a desarrollar un algoritmo para optimizar la característica de recarga. Entonces, el algoritmo toma las decisiones de control (software) aplicados sobre los parámetros eléctricos del sistema (hardware) en un tiempo determinado para conseguir la recarga del banco de baterías.

Para satisfacer los requerimientos de las técnicas mencionadas anteriormente y de esta manera proporcionar la máxima capacidad y vida útil del banco de baterías, el algoritmo de carga a utilizarse se basa en dividir como ya se mencionó el ciclo de carga en varias etapas como se va a indicar a continuación.

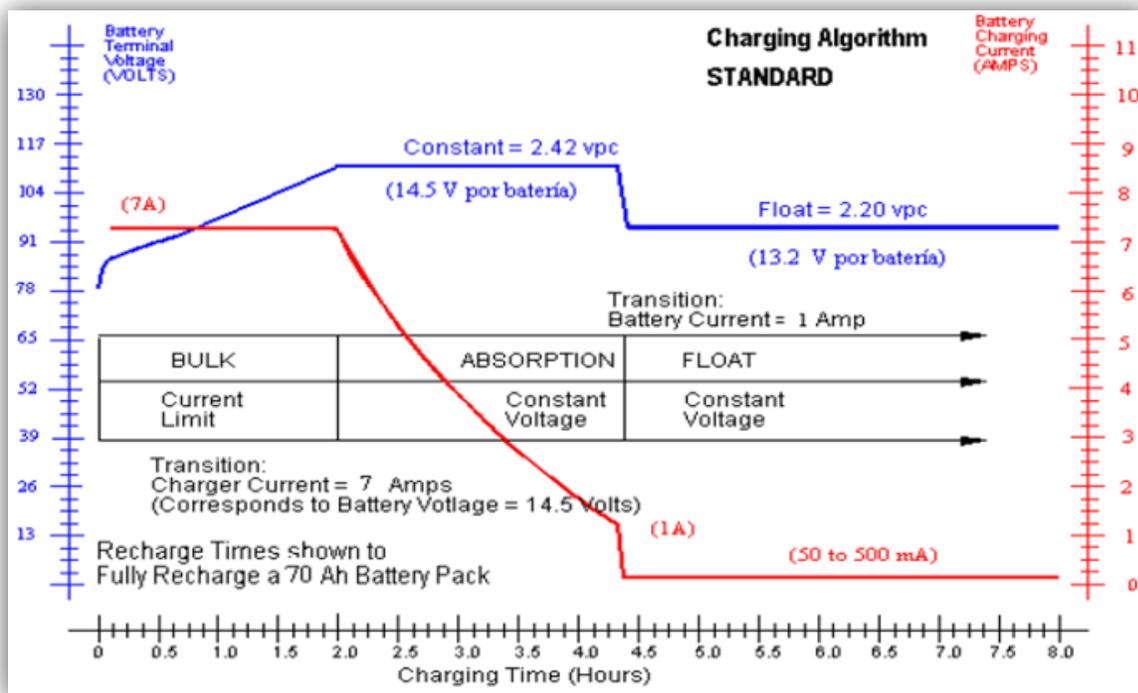


Figura 2.4 Algoritmo de Carga. Ciclo de carga en varias etapas

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
 [6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
 [7] Sabelotodo.org, 2014
 [8] Energicentro, 2007



2.4.1. Carga a Corriente Constante (Etapa Bulk)

Una vez que la carga mínima supera el límite mínimo requerido de voltaje, el cargador pasa al estado de carga máxima. Durante esta etapa de carga principal, el cargador entrega una corriente constante máxima posible a las baterías, las cuales recuperan la mayoría de su capacidad (80%) a medida que su voltaje incrementa lentamente (valor de voltaje típico requerido en esta etapa entre 14.2V y 15V) [8].

Cabe mencionar que para un banco de baterías grande, es conveniente acotar el límite de corriente máximo a unos 20% de la intensidad nominal de la batería o C/5, o incluso mejor, un 10% o C/10 de los Ah marcados en la batería o baterías.

2.4.2. Sobrecarga Controlada (Etapa de Absorción)

Posteriormente a la carga máxima donde se obtiene la mayor parte de la carga, dependiendo del tipo de batería, el cargador mantiene un voltaje constante entre 14.1V y 14.8V a 26°C mientras ésta continuamente absorbiendo energía del cargador. Aquí el valor de la corriente bajará paulatinamente a medida que las baterías completan su proceso de carga. Por lo tanto durante la etapa de absorción la corriente disminuye y el voltaje en las baterías se mantiene constante. El proceso de absorción finaliza luego de un tiempo determinado, o cuando la corriente disminuye a un valor mínimo, generalmente a un décimo de la corriente de carga máxima, o un 2% (C/50) o menos de la capacidad de la batería. En la ésta etapa el banco consigue aproximadamente el 95% o más de su carga total.

2.4.3. Flotación [8]

Una vez que la batería se ha cargado completamente al 100%, se la debe mantener cargada para de esta manera evitar su auto descarga. (Figura 2.4.3)

Si necesitamos mantener la batería en largos periodos de tiempo (meses), el voltaje de flotación no debe desviarse en más de un 1% del recomendado por el fabricante de la batería es decir aplicando un voltaje constante mayor en algunas décimas al voltaje de la batería totalmente cargada (entre 13V y 13.8V a 25°C). Exceder este margen provoca corrosión de la placa positiva y por cada 50mV de incremento por celda (0.3V para 12V) doblamos la corrosión de la placa positiva y, en consecuencia, acortamos la vida útil de la batería.

Claro que un voltaje insuficiente no mantiene la batería totalmente cargada y podemos provocar sulfatación de las placas. El cargador entregará cualquier corriente necesaria para mantener el voltaje constante. Esta corriente es de alrededor del 1% (C/100) de la capacidad o menos.

Mientras se encuentre conectado a la alimentación principal, el cargador debe mantener la batería en flotación. El sistema determina un error en el caso de que, por monitoreo, se detecta una corriente superior a la corriente de flotación, lo que puede estar indicando la presencia de una carga parásita que está comenzando a descargar la batería.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
[7] Sabelotodo.org, 2014
[8] Energicentro, 2007

En la figura se indica el algoritmo de carga por cada etapa que se utiliza en el proceso de carga de la batería:

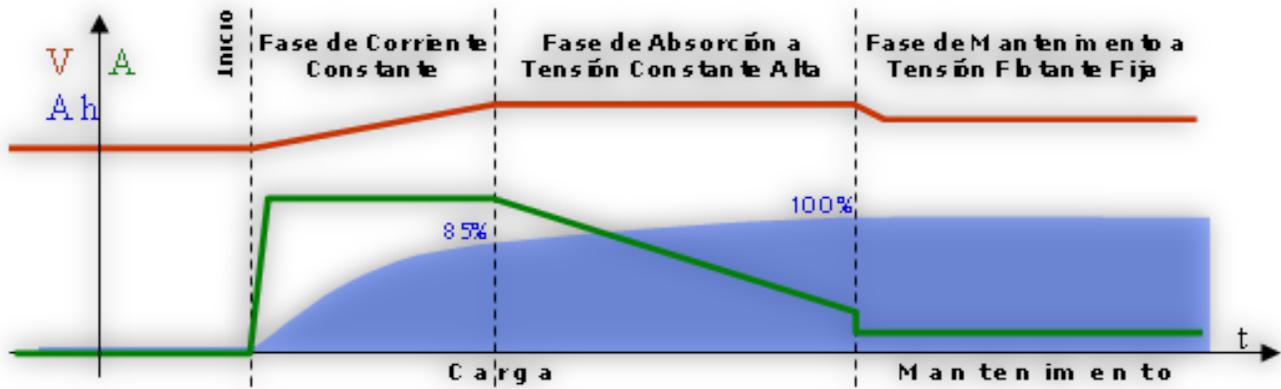


Figura 2.4.3 Etapas de Cargado. Se observa al final la etapa de mantenimiento o flotación en la cual permanece constante el voltaje.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014
 [6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014
 [7] Sabelotodo.org, 2014
 [8] Energicentro, 2007



2.5. Problemas Típicos de los Cargadores Ácido-Plomo [6] [8]

Los cargadores de baterías suelen presentar grandes problemas al momento de que están trabajando, a continuación se mencionan algunos de ello:

- ✓ Mal diseño electrónico.
- ✓ Usan dispositivos muy sencillos para su funcionamiento.
- ✓ No están elaborados bajos normas nacionales o internaciones (no acreditan las pruebas a los que son sometidos).

Debido a su mala facturación, cuando estos equipos están cargando la batería, pueden dañar de forma indirecta, ya que no respetan los procesos de carga mencionados en los puntos anteriores, aquí unos ejemplos:

- ✓ Sobrecarga.
- ✓ Calentamiento de la Batería.
- ✓ Sulfatación por largos periodos de carga.

Así también, el usuario que maneja el cargador suele influir indirectamente en los problemas que tiene éste, lo cual quiere decir que si el usuario deja el equipo conectado a la línea por largos periodos también acorta la vida útil e influye parcialmente en la vida de la batería.

Conclusiones: Entendiendo cuales son los diferentes procesos y técnicas de carga de una batería Ácido-Plomo, se decidió para este proyecto manejar tres etapas: bulk, absorción y flotamiento, en el Capítulo III se explicara de forma detallada cada paso el control de cada una, así como el funcionamiento de cada etapa, esto con la finalidad de evitar los problemas típicos de los cargadores.

[5] Company Logo, Baterías de Litio.es, 2014

[6] Sun, Northern Arizona Wind & Sun, 2014

[7] Sabelotodo.org, 2014

[8] Energicentro, 2007

3

Diseño y Construcción del Cargador Inteligente para Baterías Ácido-Plomo

-  Definición de los Umbrales de Voltaje y Corriente para las Etapas de Carga
-  Cálculos y Diseño del Prototipo
-  Construcción del Prototipo
-  Pruebas y Resultados



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CARGADOR ELECTRÓNICO INTELIGENTE PARA BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO

Con la información analizada en las secciones anteriores, en especial el Capítulo II se definen los procesos de carga de la batería, dando inicio al Capítulo III en el cual se tienen los criterios y valores para desarrollar el prototipo.

3.1. Umbrales de Voltaje y Corriente para las Etapas de Carga

Las etapas de carga para la batería NP7-12 [9] se definen en este apartado como umbrales de corriente y voltaje, las Figuras 3.1a y 3.1b detallan la selección de los voltajes por celda decididos en base a la temperatura en la que el prototipo funciona.

3.1.1. Voltaje de Referencia para el Umbral de Corriente I (VR-UI₁)

Etapas de Carga I: Este es el voltaje que estará generando el DAC_B (Convertidor Analógico a Digital) del MCP4822 [10] para que el comparador C₂ del PIC-18F4550 limite la corriente durante la 1^{ra} Etapa de Carga (Etapa Bulk).

1. La Batería NP7-12 [9] tiene una capacidad $C = 7Ah$ y considerando que el valor de la corriente constante durante la Etapa Bulk es de $I = 0.1C$ [9], entonces en este caso se tiene:

$$I_B = 0.7A$$

2. El voltaje de salida que se presenta en el sensor de corriente para $I = 0.7A$ será:

$$V_0 = (I)(R)$$

por practicidad de cálculo, se propuso una $R_s = 1\Omega$, entonces:

$$V_0 = 0.7V$$

3. El código digital que se proporciona al DAC_B del PIC para que entregue a su salida 0.7V se describe a continuación:

El voltaje de salida de los DAC's contenidos en el MCP4822 [10] esta determinado por la expresión:

$$V_0 = \frac{2.048}{4096}(n)(G) \quad n: \text{valor digital introducido al DAC} \\ G: \text{ganancia } 1 \text{ o } 2$$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

Por tanto, dándole valor a $V_o = 0.7V$, despejando ha n y dando $G = 1$, obtenemos:

$$n = \frac{4096}{2.048} (0.7V)(1)$$

$n = 1400$, este numero convertido a binario queda expresado en la Tabla 3.1

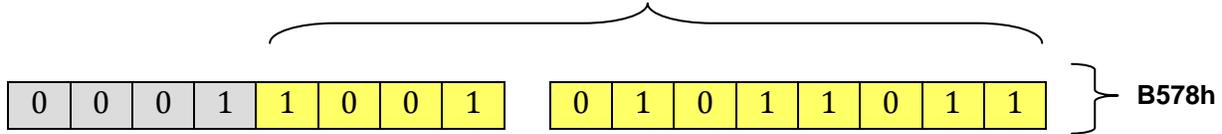


Tabla 3.1: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa

3.1.2. Voltaje de Referencia para el Umbral de Voltaje I (V_R-UV_1)

Etapas de Carga I y II: Este es el voltaje que estará generando el DAC_A (Convertidor Analógico a Digital) del MCP4822 [10] para que el comparador C₁ del PIC-18F4550 limite el voltaje durante la 1^{ra} Etapa de Carga (Etapa Bulk) y la 2^{da} Etapa de Carga (Etapa de Absorción).

1. El voltaje por celda seleccionado para la Etapa de Carga 1 fue de $2.45 V/C$ de modo que el voltaje de la batería (V_B) correspondiente será:

$$V_B = 14.7V$$

2. El voltaje de salida que presentara el sensor de voltaje es:

$$V_o = V_B k$$

$$V_o = (14.7V)(0.1754385965)$$

$$V_o = 2.578947V$$

K: coeficiente de proporcionalidad del sensor: 0.1754385965 para la combinación de R1 y R2 del sensor empleado.

3. El voltaje de salida de los DAC's contenidos en el MCP4822 esta determinado por la expresión [10]:

$$V_o = \frac{2.048}{4096} (n)(G) \quad n: \text{valor digital introducido al DAC}$$

$$G: \text{ganancia 1 o 2}$$

Por tanto, dándole valor a $V_o = 2.578947V$, despejando ha n y dando $G = 2$, obtenemos:

$$n = \frac{4096}{(2)(2.048)} (2.578947V)$$

$$n = 2578.95$$

Redondeando este valor nos queda $n = 2579$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>



4. El efecto de este redondeo por exceso al umbral de voltaje se determina en los siguientes incisos

a) Valor de salida del DAC del MCP4822 para $n = 2579$ y $G = 2$

$$V_0 = \frac{(2)(2.048)}{4096} (2579)$$

$$V_0 = 2.579V$$

b) El valor de V_B corresponde un voltaje a la salida del sensor con valor de 2.579V

$$V_0 = V_B k$$

$$V_B = \frac{V_0}{k} = \frac{2.579V}{0.1754385965}$$

$$V_B = 14.7003V$$

La afectación es irrelevante: $0.3mV$

5. El código digital que se proporciona MCP4822 es

$n = 2579$ este numero convertido a binario queda expresado en la Tabla 3.2

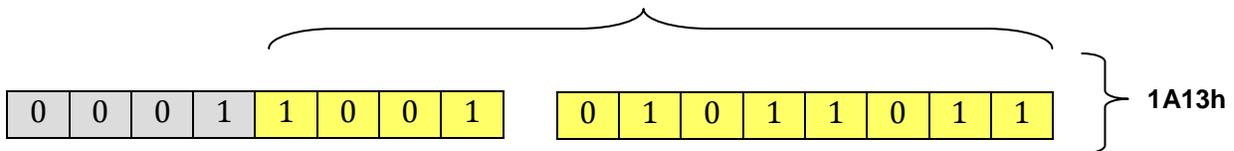


Tabla 3.2: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.1.3. Voltaje de Referencia para el Umbral de Corriente II (VR-UI₂)

Etapas de Carga II: Este es el voltaje que estará generando el DAC_B (Convertidor Analógico a Digital) del MCP4822 [10] a su salida durante la Etapa de Carga 2. Será utilizado por el comparador C₂ del microcontrolador para alertar al software de que la corriente ha bajado al valor preestablecido para entrar a la Etapa de Carga 3 (Etapa de Flotación).

1. El valor de este umbral de corriente, según se refiere en las fuentes consultadas, esta alrededor de $0.03C$ [9]. El fabricante de la Batería NP7-12 [10] pide que al inicio de esta etapa, la $I_B < 0.1C$ lo cual, en el contexto de este diseño, queda garantizado por el hecho de que se le aplicará una tensión a la batería ligeramente inferior al que estaba presente cuando se alcanzo la $I = 0.1C$ apenas un instante antes

Tendiendo la Batería NP7-12 una $C = 7Ah$, entonces la corriente a la que estamos refiriéndonos, tendrá un valor:

$$I_B = 0.03C$$

$$I_B = (0.03)(7Ah)$$

$$I_B = 0.21Ah$$

2. El voltaje que presentara a su salida el sensor de corriente para una $I_B = 0.21A$ será:

$$V_0 = (I_B)(R)$$

$$V_0 = (0.21A)(1\Omega)$$

$$V_0 = 0.21V$$

3. El voltaje de salida de los DAC's contenidos en el MCP4822 queda determinado por la expresión [10]:

$$V_0 = \frac{2.048}{4096}(n)(G) \quad n: \text{valor digital introducido al DAC}$$

$G: \text{ganancia } 1 \text{ o } 2$

Por tanto, dándole valor a $V_0 = 0.21V$, despejando ha n y dando $G = 1$, obtenemos:

$$n = \frac{4096}{(1)(2.048)}(0.21V)$$

$n = 420$ este numero convertido a binario queda expresado en la Tabla 3.3

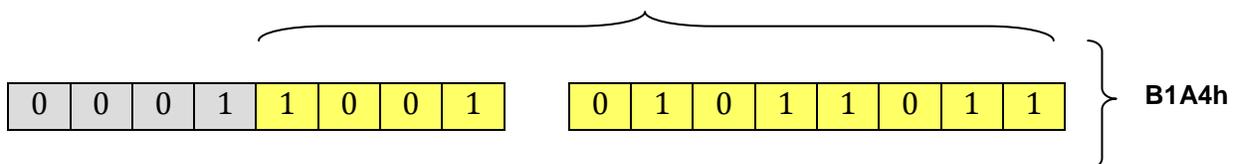


Tabla 3.3: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.1.4. Voltaje de Referencia para el Umbral de Voltaje II (VR-UV₂)

Etapas de Carga II: Este es el voltaje que estará presentando el DAC_A (Convertidor Analógico a Digital) del MCP4822 [10] a su salida para que el comparador C₁ del microcontrolador limite el voltaje aplicado a la batería.

1. El valor de este umbral, por especificación de la hoja de datos de la NP7-12 [9], es de $2.40 V/C$ lo que corresponde :

$$V_B = (6)(2.40V)$$
$$V_B = 14.4V$$

2. El voltaje de salida que para este valor de V_B presentara el sensor es

$$V_0 = V_B k$$
$$V_0 = (14.4V)(0.1754385965)$$
$$V_0 = 2.526316V$$

k: coeficiente de proporcionalidad del sensor: **0.1754385965** para la combinación de R1 y R2 del sensor empleado.

3. El voltaje de salida de los DAC's contenidos en el MCP4822 queda determinado por la expresión:

$$V_0 = \frac{2.048}{4096}(n)(G) \quad n: \text{valor digital introducido al DAC}$$

G: ganancia 1 o 2

Por tanto, dándole valor a $V_0 = 2.526316V$, despejando n y dando $G = 2$, obtenemos:

$$n = \frac{4096}{(2)(2.048)}(2.526316V)$$
$$n = 2526.316$$

Redondeando por exceso, tenemos una $n = 2527$

4. El efecto de este redondeo por exceso al umbral de voltaje se determina:

- a) Valor de salida del DAC para $n = 2527$ y $G = 2$

$$V_0 = \frac{(2)(2.048)}{4096}(2527)$$

$$V_0 = 2.527V$$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>



b) ¿A que valor de V_B corresponde un voltaje a la salida del sensor con valor de 2.527V?

$$V_0 = V_B k$$

$$V_B = \frac{V_0}{k} = \frac{2.527V}{0.1754385965}$$

$$V_B = 14.4039V$$

La afectación es irrelevante: 3.9mV

El código digital que se proporciona al MCP4822 es:

$n = 2527$ este numero convertido a binario queda expresado en la Tabla 3.4

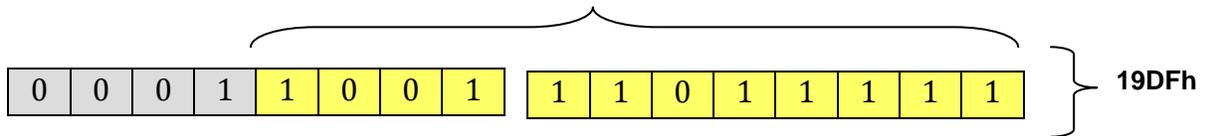


Tabla 3.4: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.1.5. Voltaje de Referencia para el Umbral de Voltaje III (VR-UV₃)

Etapas de Carga III: Este es el valor que estará presentando a su salida el DAC_A (Convertidor Analógico a Digital) del MCP4822 [10] a su salida para que el comparador C₁ del microcontrolador limite el voltaje aplicado a la batería.

1. El valor de este umbral corresponde a una temperatura de 25°C entre 2.25 V/C y 2.30 V/C según las especificaciones de la Batería NP7-12 [9] en la Etapa de Carga de Flotación.

Se decidió utilizar el valor intermedio de dicho rango (2.275 V/C) maximizando de este modo el rango de temperatura de operación para esta etapa. Por tanto, el valor de este voltaje en la batería será:

$$V_B = (2.275 \text{ V/C})(6) \\ V_B = 13.65 \text{ V}$$

2. El voltaje de salida que para este valor de V_B presentara el sensor es:

$$V_0 = V_B k \\ V_0 = (13.65 \text{ V})(0.1754385965) \\ V_0 = 2.394737 \text{ V}$$

k: coeficiente de proporcionalidad del sensor: **0.1754385965** para la combinación de R1 y R2 del sensor empleado.

3. El voltaje de salida de los DAC's contenidos en el MCP4822 queda determinado por la expresión:

$$V_0 = \frac{2.048}{4096} (n)(G) \quad n: \text{valor digital introducido al DAC} \\ G: \text{ganancia 1 o 2}$$

Por tanto, dándole valor a V₀ = 2.394737V, despejando ha n y dando G = 2, obtenemos:

$$n = \frac{4096}{(2)(2.048)} (2.394737 \text{ V}) \\ n = 2394.74$$

Redondeando por exceso, tenemos una n = 2395

4. El efecto de este redondeo por exceso al umbral de voltaje se determina:

- a) Valor de salida del DAC para n = 2395 y G = 2

$$V_0 = \frac{(2)(2.048)}{4096} (2395)$$

$$V_0 = 2.395 \text{ V}$$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>



b) El valor de V_B corresponde a un voltaje a la salida del sensor con valor de $2.395V$

$$V_0 = V_B k$$

$$V_B = \frac{V_0}{k} = \frac{2.395V}{0.1754385965}$$

$$V_B = 13.6515V$$

La afectación es irrelevante: $1.5mV$

El código digital que se proporciona al MCP4822 es:

$n = 2395$, este numero convertido a binario queda expresado en la Tabla 3.5

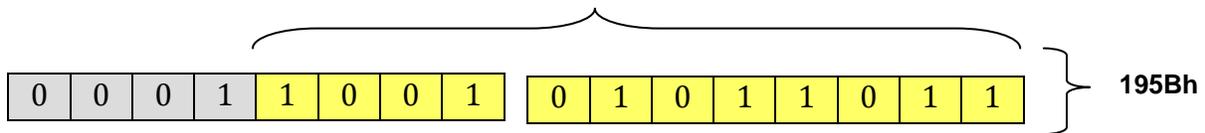


Tabla 3.5: el valor de n expresado en código binario, mismo que se convierte a código hexadecimal para el programa

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

Rango de voltaje de Carga/Celda (V/C) durante el régimen cíclico, en función de la temperatura, esto aplica para las **Etapas de Carga I y II**.

Battery Temperature	Charge Voltage per cell	Charge Voltage for a 12 Volt battery
-20 °C *	2.67 to 2.76	16.02 to 16.56
-10 °C *	2.61 to 2.70	15.66 to 16.2
0 °C *	2.55 to 2.65	15.3 to 15.9
10 °C	2.49 to 2.59	14.94 to 15.54
20 °C	2.43 to 2.53	14.58 to 15.18
25 °C	2.40 to 2.50	14.40 to 15.00
30 °C	2.37 to 2.47	14.22 to 14.82
40 °C	2.31 to 2.41	13.86 to 14.46
50 °C	2.25 to 2.35	13.5 to 14.10

Tabla 3.6: Relación de Temperatura respecto a Voltaje durante la Etapa de Carga I y II para una batería de 12V

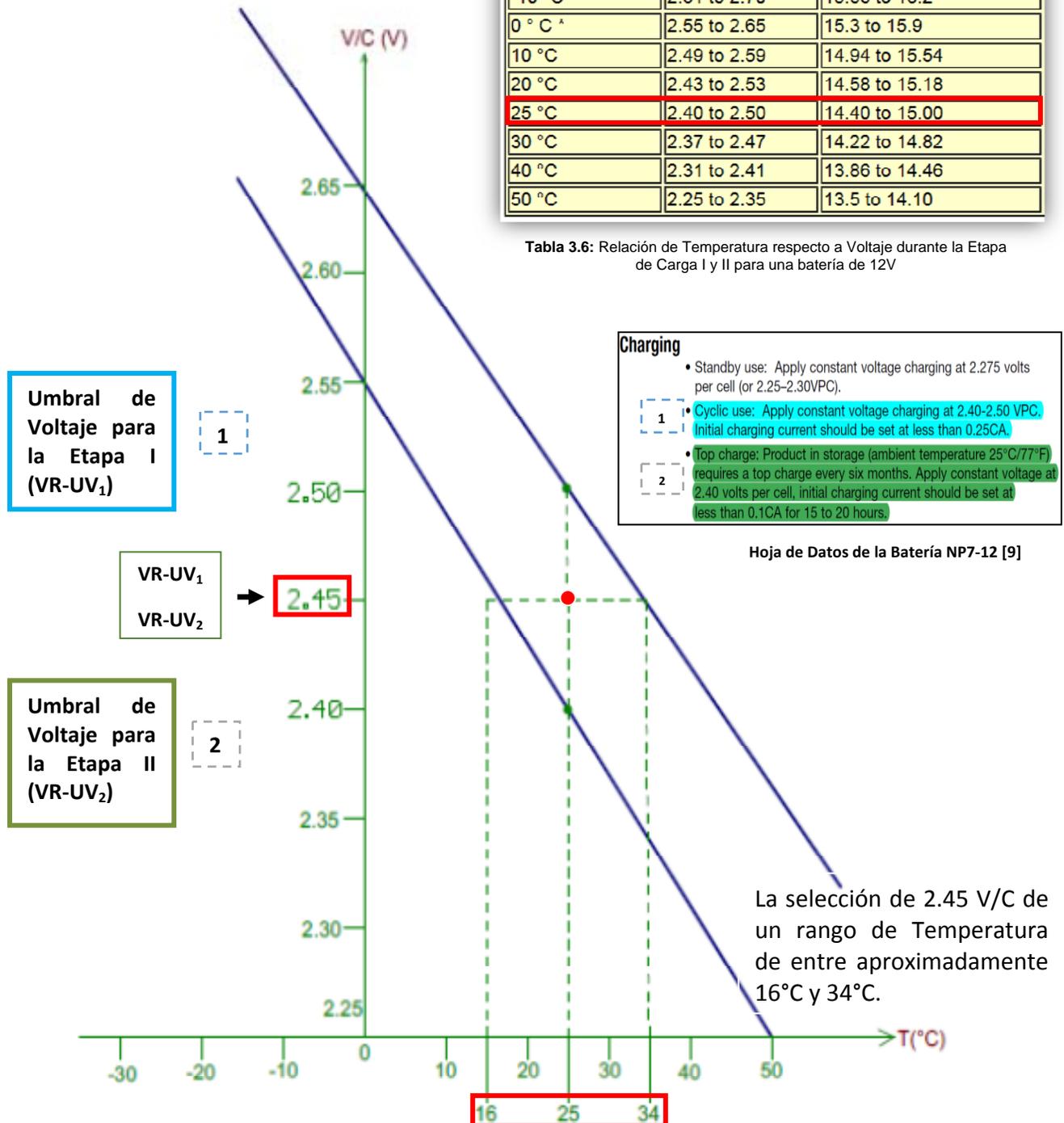


Figura 3.1a Detallan la selección de los voltajes por celda decididos en base a la temperatura en la que el prototipo funciona.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

Rango de voltaje de Carga/Celda (V/C) en función de la Temperatura para la **Etapa de Carga III**

Battery Temperature	Charge Voltage per cell	Charge Voltage for 12V Battery
-30 °C *	2.44	14.6
-20 °C *	2.34 to 2.38	14.04 to 14.28
-10 °C *	2.32 to 2.37	13.92 to 14.22
0 °C	2.30 to 2.35	13.8 to 14.1
10 °C	2.28 to 2.33	13.68 to 13.98
20 °C	2.26 to 2.31	13.56 to 13.86
25 °C	2.25 to 2.30	13.5 to 13.8
30 °C	2.24 to 2.29	13.44 to 13.74
40 °C	2.22 to 2.27	13.32 to 13.62
50 °C	2.20 to 2.25	13.2 to 13.5

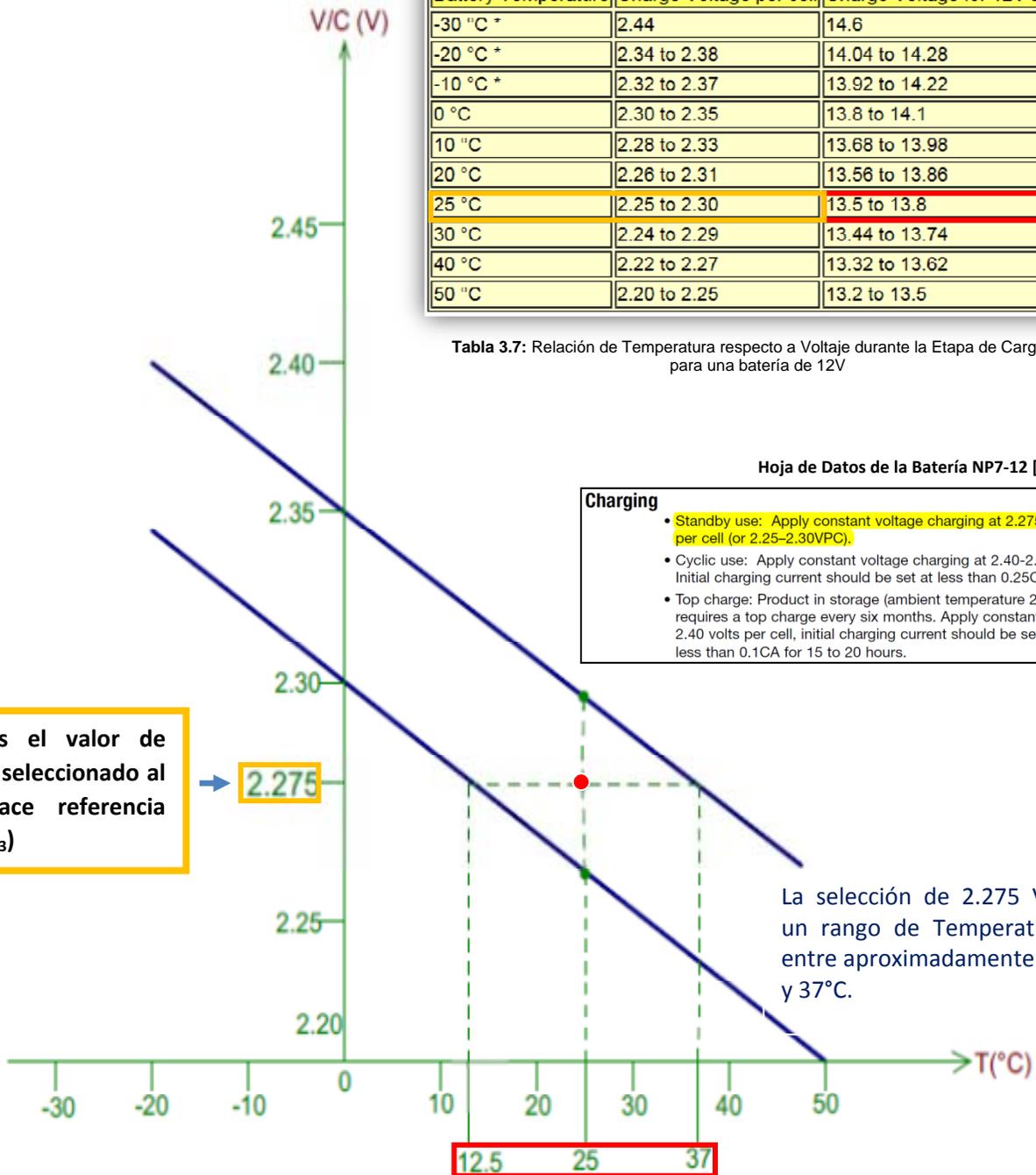
Tabla 3.7: Relación de Temperatura respecto a Voltaje durante la Etapa de Carga III para una batería de 12V

Hoja de Datos de la Batería NP7-12 [9]

Charging

- Standby use: Apply constant voltage charging at 2.275 volts per cell (or 2.25–2.30VPC).
- Cyclic use: Apply constant voltage charging at 2.40-2.50 VPC. Initial charging current should be set at less than 0.25CA.
- Top charge: Product in storage (ambient temperature 25°C/77°F) requires a top charge every six months. Apply constant voltage at 2.40 volts per cell, initial charging current should be set at less than 0.1CA for 15 to 20 hours.

Este es el valor de voltaje seleccionado al que hace referencia ($VR-UV_3$)



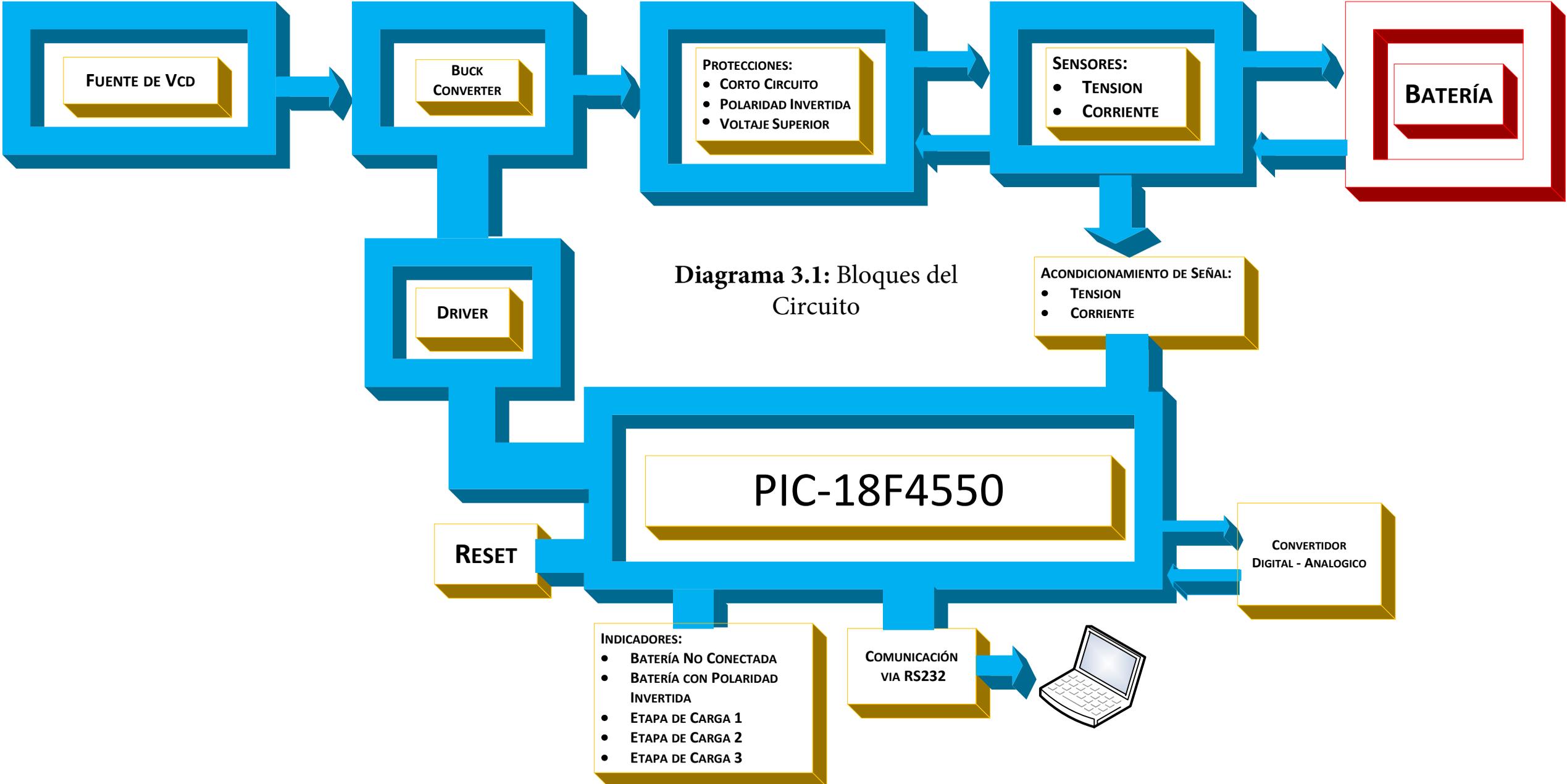
La selección de 2.275 V/C de un rango de Temperatura de entre aproximadamente 12.5°C y 37°C.

Figura 3.1b Detallan la selección de los voltajes por celda decididos en base a la temperatura en la que el prototipo funciona.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

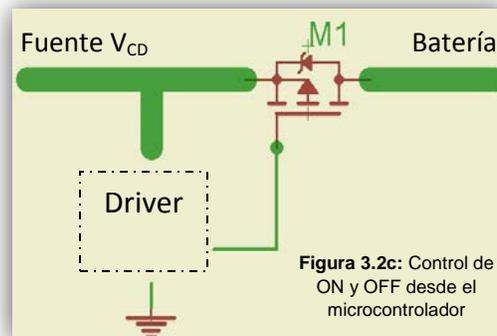
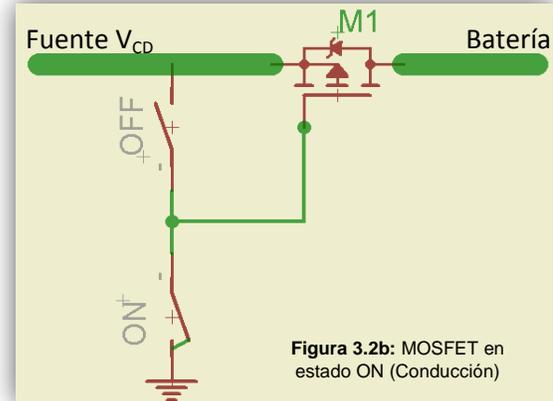
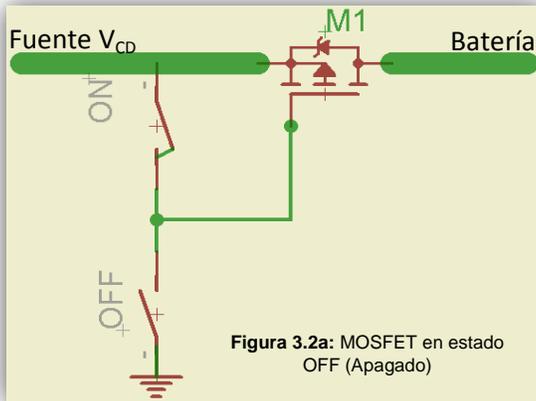
3.2.1. DIAGRAMA A BLOQUES DEL CARGADOR ELECTRÓNICO INTELIGENTE PARA BATERÍAS ÁCIDO - PLOMO

El diagrama a bloques describe en forma general las etapas en las que se encuentra dividido el circuito

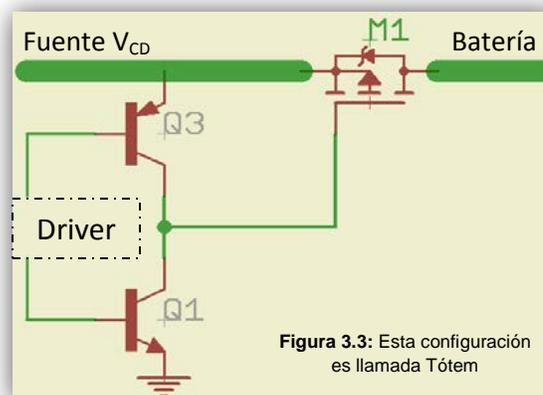


3.2.1.1. Diseño del Driver para el Buck Converter

Se necesita polarizar la puerta del MOSFET de manera que este conduzca o se abra (estados ON / OFF) como en las Figuras 3.2a y 3.2b y que dichas acciones sean controlados por líneas del nivel TTL (0 a 5V) provenientes del PIC (Figura 3.2c)

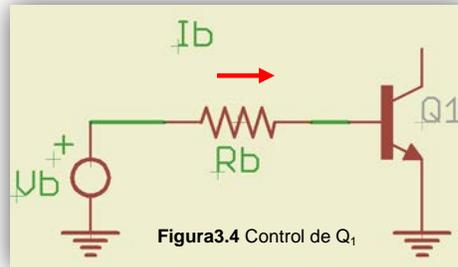


Como conmutadores se utilizaron dos transistores bipolares que alternativamente estarán en corte o saturación según se requiera. La configuración adoptada es la siguiente (Figura 3.3):



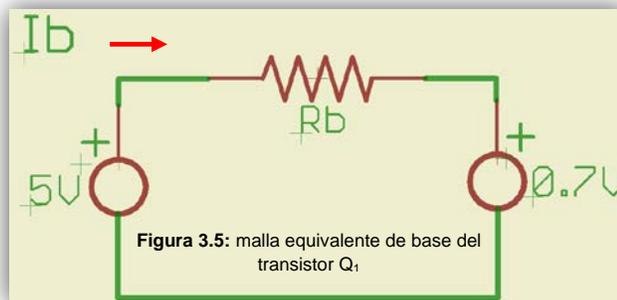
[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

- Control de Q1 (Polarización):** la polarización y control de Q1 para entrar en saturación o en corte a partir de una señal de control de TTL (0-5V) proveniente del microcontrolador para un transistor NPN es la siguiente (Figura 3.4):



Asumiendo una I_c de 20mA nos queda que: $h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} \rightarrow I_b = \frac{I_c}{h_{FE}} = \frac{20mA}{20} = 1mA$

Aplicando una Ley de Kirchoff de Tensión a la malla equivalente de base a la Figura 3.4 nos queda la siguiente Figura 3.5:



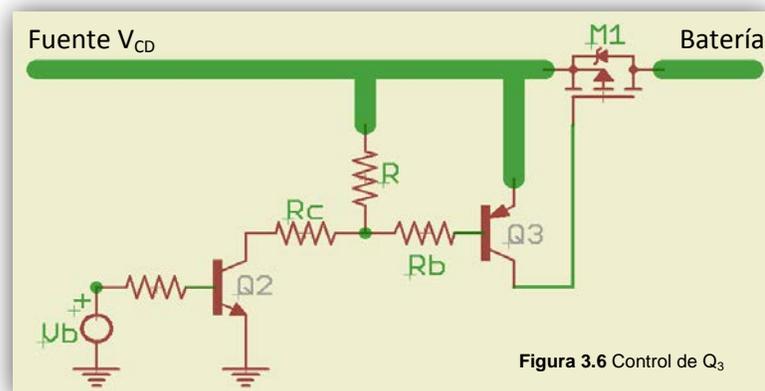
$$-5V + I_b R_b + 0.7 = 0$$

$$I_b R_b = 5 - 0.7$$

$$R_b = \frac{4.3}{1} = 4.3K\Omega$$

Aproximando por defecto, para no quedar por debajo de la corriente marcada, damos a R_b (Resistencia de Base) un valor de **3.9KΩ**, el cual asegura su conmutación.

- Control de Q3 (Polarización):** el transistor Q_3 , al estar referido su emisor a la terminal positiva de la fuente de alimentación de 20V, plantea un escenario más complejo que requiere de un transistor auxiliar, de la forma mostrada en la Figura 3.6.



[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

Cuando Q_2 está en corte, la base de Q_3 queda conectada a través de R_b y R a su propio emisor, lo cual asegura la condición al no haber polarización base-emisor.

Al cerrarse Q_2 (modo de saturación) circulara una corriente I_b e I_x que, en el caso de la primera, habrá de saturar a Q_3 (Figura3.7).

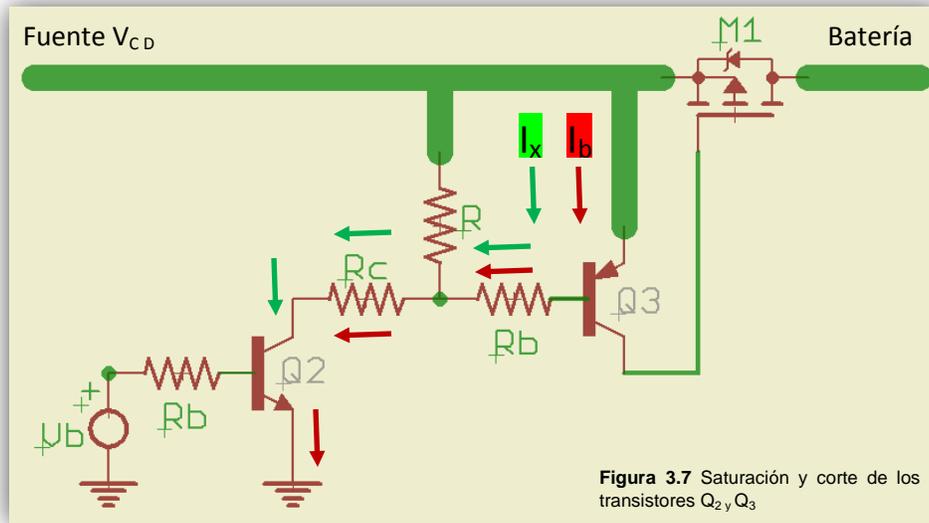


Figura 3.7 Saturación y corte de los transistores Q_2 y Q_3

Puesto que las condiciones de excitación de Q_2 son similares a los analizados para Q_1 , se tiene una resistencia $R_b = 3.9K\Omega$

3. Calculo de los valores de R , R_b y R_c del transistor Q_3

R : fijado a un valor relativamente bajo (220Ω) que asegure el corte de Q_3 cuando Q_2 no esta conduciendo.

I_b : Se determino, conservadoramente igual a 20mA

I_c : Aproximadamente 12mA

Realizando el circuito equivalente a la figura anterior da como resultado lo siguiente (Figura 3.8):

$$n_e = m - n + 1$$

$$n_e = 3 - 2 + 1$$

$$n_e = 2$$

Donde: $n_e = \text{numero de ecuaciones}$

$m = \text{numero de mallas}$

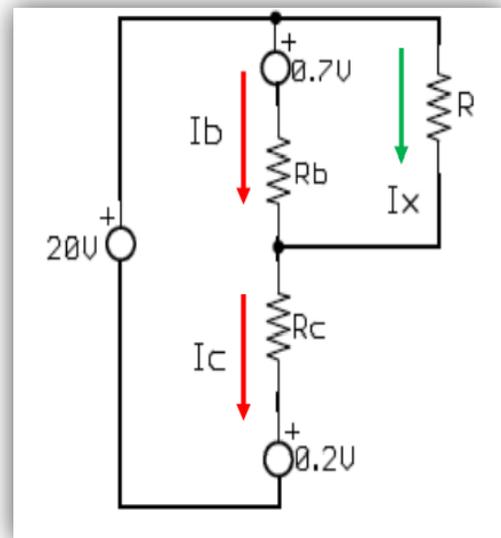


Figura 3.8. Circuito equivalente: Resolviendo por medio del método de mallas.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>



Aplicando Ley de Kirchoff de Tensión a las dos mallas anteriores obtenemos:

$$\begin{aligned} -20V + 0.7V + I_b R_b + I_c R_c + 0.2V &= 0 \\ I_b R_b + I_c R_c &= 19.1V \dots \dots (I) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -0.7V + I_x R - I_b R_b &= 0 \\ I_x R - I_b R_b &= 0.7V \dots \dots (II) \end{aligned}$$

Planteando el sistema de ecuaciones tenemos:

$$\begin{aligned} 0 + I_c R_c + I_b R_b &= 19.1V \dots \dots (I) \\ I_x R + 0 - I_b R_b &= 0.7V \dots \dots (II) \end{aligned}$$

Despejando R_b en (II) y sustituyendo en (I)

$$\begin{aligned} I_x R - I_b R_b &= 0.7V \\ I_b R_b &= I_x R - 0.7V \end{aligned}$$

$$R_b = \frac{I_x R - 0.7V}{I_b}$$

Sustituyendo I_b por el valor decidido (2.2mA) y a $I_x=10mA$, entonces:

$$R_b = \frac{(I_x)(R) - 0.7V}{I_b} = \frac{(10mA)(220\Omega) - 0.7V}{2.2mA} = \frac{2199.3V}{2.2mA} = 1099.65\Omega$$

$$R_b = 1.2k\Omega$$

Como $I_x + I_b = I_c$ I_b se decidió hacer de 7mA y por otro lado decidimos que $I_c = 12mA$, entonces $I_x = 10mA$

Sustituyendo ahora I_b , R_b e I_c en (I) para calcular R_c nos queda:

$$\begin{aligned} I_b R_b + I_c R_e &= 19.1 \\ (2)(1.2k\Omega) + (12mA)(R_e) &= 19.1 \end{aligned}$$

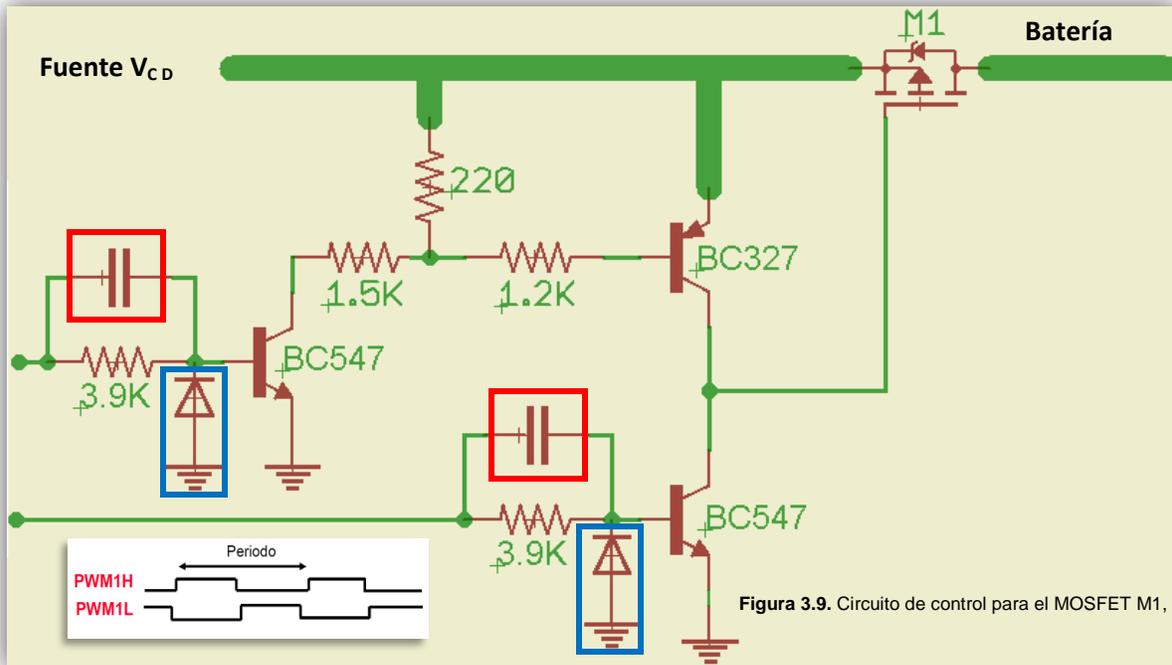
$$R_e = \frac{16.7}{12}$$

$$R_e = 1.39k\Omega$$

$$R_e = 1.5k\Omega$$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

De modo que el circuito del Driver (Figura3.9) queda:



- 4. Capacitores de Conmutación** A velocidades de conmutación altas (como los que requiere la operación de este circuito) las capacidades parásitas presentes entre las uniones del transistor (Base-Emisor) en este caso, retardan los tiempos de subida y caída de los pulsos utilizados como estímulos de control. Estas capacidades “paralelo” (de pequeño valor) pueden ser neutralizadas añadiendo capacidad “serie” al circuito excitador, como se muestra en los capacitores resaltados en color rojo de la figura anterior.

Un efecto colateral de esta práctica lo constituye el hecho de que en la base del transistor, el voltaje “bajo” del pulso (originalmente 0v) manifiesta una marcada excursión negativa. Así bien, algo de polarización negativa refuerza para cortar al transistor, se decidió limitar dicha excursión a tan solo -0.7V mediante la inclusión de diodos resaltados en azul, polarizados en inversa, en paralelo con la unión Base-Emisor de los transistores.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.2.1.2. Diseño del Buck Converter [12]

El Buck Converter consiste en un transistor MOSFET canal P manejado por el PIC via dos transistores bipolares (NPN y PNP). El MOSFET se conecta a un inductor, un diodo y un condensador a la entrada y a la salida.

✚ Selección de parametros de carga máximo:

$$V_{in} = 20V \quad V_{out} = 16V \quad I_o = 1A \quad F_{sw} = 200KHz$$

✚ Duty Cycle (Ciclo Útil) para estas condiciones:

$$D_c = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{16V}{20V} = 0.8V$$

✚ Ripple máximo de corriente para estas condiciones:

$$I_r = 0.3(I_o)$$

Se selecciona el 30% del valor máximo de la corriente de salida, este criterio de diseño es utilizado $I_r = 0.3A$ comúnmente

✚ Calculo de la inductancia (L) necesaria (mínimo valor) para satisfacer estos requerimientos mínimos de operación:

$$L = (V_{in} - V_{out}) \frac{D_c}{F_{sw}(I_r)} \quad L = (20V - 16V) \frac{0.8V}{200KHz(0.3A)} = 53.3\mu H$$

Este valor de $L = 53.3\mu H$ es el mínimo permitido para satisfacer las condiciones impuestas originalmente. Si se utilizara un inductor superior en cuanto a su valor, desde el punto de vista de operación mejorara la corriente de ripple (I_r).

De los inductores disponibles, según los valores de inductancia determinados experimentalmente, se cuenta con uno de valor $L = 60.9\mu H$.

Despejando I_r de la ecuación de inductancia y evaluando la ecuación resultante para $L = 60.9\mu H$ se tiene:

$$L = (V_{in} - V_{out}) \frac{D_c}{F_{sw}(I_r)} \quad I_r = (V_{in} - V_{out}) \frac{D_c}{F_{sw}(L)}$$
$$I_r = (20V - 16V) \frac{0.8V}{200KHz(60.9\mu H)} = 0.236A$$

✚ Selección del voltaje de ripple deseado:

$$V_r = 0.05V = 50mV$$

✚ Selección del capacitor de salida (C_i) (valor mínimo necesario para satisfacer los cálculos anteriores):

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

Para el capacitor:

$$V_r = I_r \left(ESR + \frac{\Delta T}{C_o} + \frac{ESL}{\Delta T} \right)$$

$$\text{Donde: } \Delta T = \frac{D_c}{F_{SW}}$$

- *ESR (Effective Serial Resistance)*: es la resistencia parásita serie que contiene el capacitor
- *ESL (Effective Serial Inductance)*: es la inductancia parásita serie del inductor

El valor de *ESR* es posible determinarlo de forma experimental, pero se requiere para ello de un generador de pulsos de laboratorio con impedancia de salida conocida (50Ω). Desafortunadamente no se cuenta con dicho instrumento, de modo que tomamos un valor típico de un capacitor $ESR = 0.03\Omega$ y para $ESL = 0$. Resolviendo la ecuación anterior y despejando a C se tiene:

$$V_r = I_r \left(ESR + \frac{\Delta T}{C_o} + \frac{ESL}{\Delta T} \right) \quad V_r = I_r \left(ESR + \frac{\Delta T}{C_o} \right) \quad V_r - I_r(ESR) = \frac{I_r(\Delta T)}{C_o}$$

$$C_o = \frac{I_r(\Delta T)}{V_r - I_r(ESR)} = \frac{I_r \frac{D_c}{F_{SW}}}{(V_r - I_r(ESR))} = \frac{I_r(D_c)}{F_{SW}(V_r - I_r(ESR))}$$

Sustituyendo los valores conocidos de las variables tenemos:

$$C_o = \frac{0.263A(0.8V)}{200KHz(0.05V - 0.263A(0.03))} = 25\mu F$$

Este valor de $C = 25\mu F$ es el mínimo requerido para satisfacer los requerimientos plantados originalmente. Un valor mayor, desde punto de vista técnico y de operación mejorara el ripple de voltaje.

Por la disponibilidad de componentes a nuestro alcance, se empleara un capacitor de $C = 47\mu F$

- ✚ **Selección del capacitor de entrada (C_i)**: al igual que en el caso del capacitor de salida, la selección del capacitor de entrada se basa en el *ESR* y en el ripple de entrada.

El ripple de entrada es de 0.2V y considerando un *ESR* típico de capacitores para régimen de conmutación con valores de 0.03Ω, se decide a evaluar la ecuación anterior y se obtiene un valor de $C_i = 10.8\mu F$

Por se un capacitor de bajo valor, se tiene una tensión continua de 20V, por lo cual este valor se tiene que superar notablemente. En nuestro caso estaremos utilizando un $C_i = 470\mu F/50V$

- ✚ **Selección del Diodo**: se basa en los valores de corriente y tensión inversa al que estará sometido el diodo durante su operación:

$$I_D = (1 - D_c)I_o$$

$$I_D = (1 - 0.8V)(1A) = 0.2A$$

$$\text{Voltaje Inverso} = -V_i = -12V$$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

El diodo 1N5822 es utilizado con:

$$I_d = 3A$$

$$V_{rd} = 40V$$

✚ **Selección del MOSFET:** se basa en valores de corriente y voltaje máximo

- *Voltaje Maximo (superior a 20V)*
- *Corriente Maxima (superior a 1A)*
- *Canal P, para mayor facilidad en la implementacion el circuito Driver*

Basado en lo anterior, y en la disponibilidad en el mercado local, se eligió el *MTP2955E* de Motorola, cuyas características son:

$$V_{DS\ maxima} = 60V \quad I_{D\ maxima} = 12A \quad R_{DSon} = 0.3\Omega$$

Con todo lo anterior el Buck Converter toma la forma mostrada en la Figura 3.10

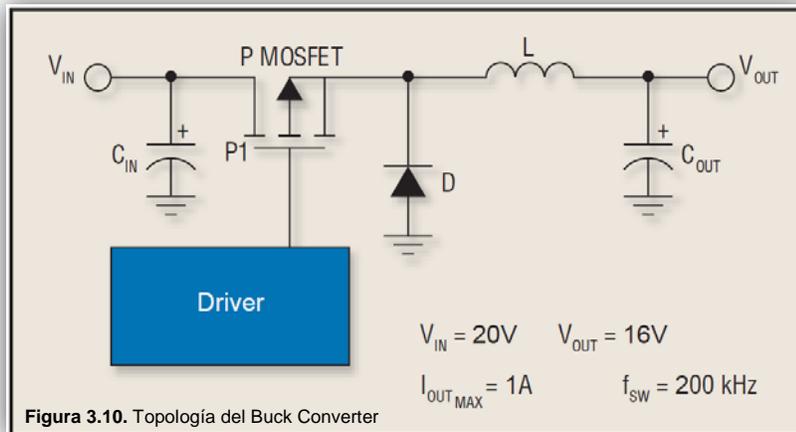


Figura 3.10. Topología del Buck Converter

Cuando el MOSFET se encuentra en ON (ilustrado en la Figura 3.11 por el interruptor cerrado) la corriente fluirá como se muestra. El capacitor de la entrada se carga vía el inductor (el cual también se carga). Cuando el interruptor se abre (Figura 3.12) el inductor tratara de mantener su flujo de corriente por la inducción del voltaje, la corriente fluirá a través del diodo y el inductor cargara al condensador de salida. Entonces el ciclo se repite, generando así la figura del rizo (Figura 3.13).

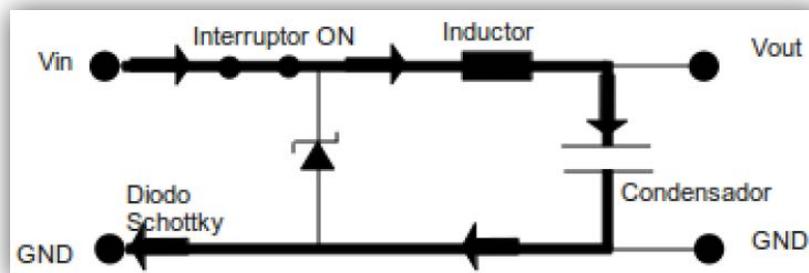


Figura 3.11. MOSFET M1 en ON

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

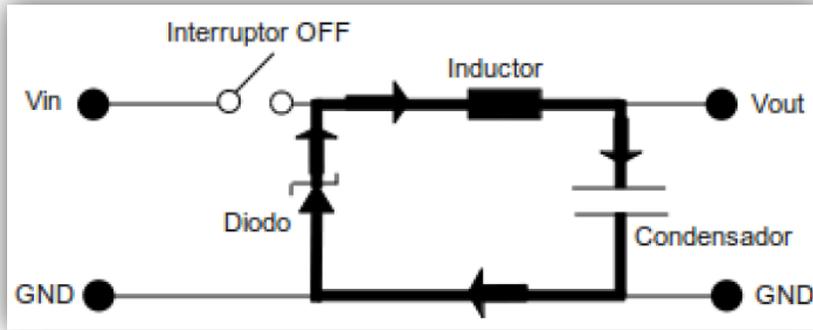


Figura 3.12 y 3.13 MOSFET M1 en ON. Cuando se abre y cierra el transistor, se genera un flujo de corriente y voltaje a través de los capacitores y el inductor provocando así la corriente de ripple

Una practica usual, para reducir los transitorios que a altas frecuencias y velocidades de conmutación se propagan (con facilidad) por las líneas del circuito, lo constituye la inclusión de una Red Snubber, formada por un capacitor y resistor en serie, en paralelo con el diodo.

La solución de los valores de R y C de la red Snubber depende de las características físicas de circuito mismo. Por ello dicha selección se suele hacer por tanteo, adoptando la combinación que mejor resultado adopto.

En nuestro caso se seleccionaron:

$$R = 10\Omega$$

$$C = 22nF$$

Quedando finalmente el circuito de la manera siguiente (Figura 3.14)

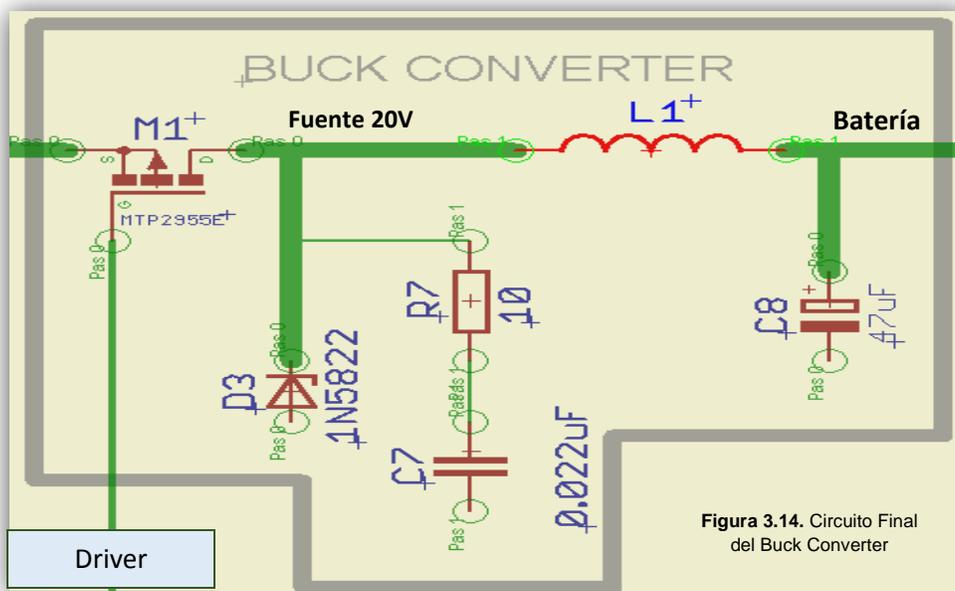


Figura 3.14. Circuito Final del Buck Converter

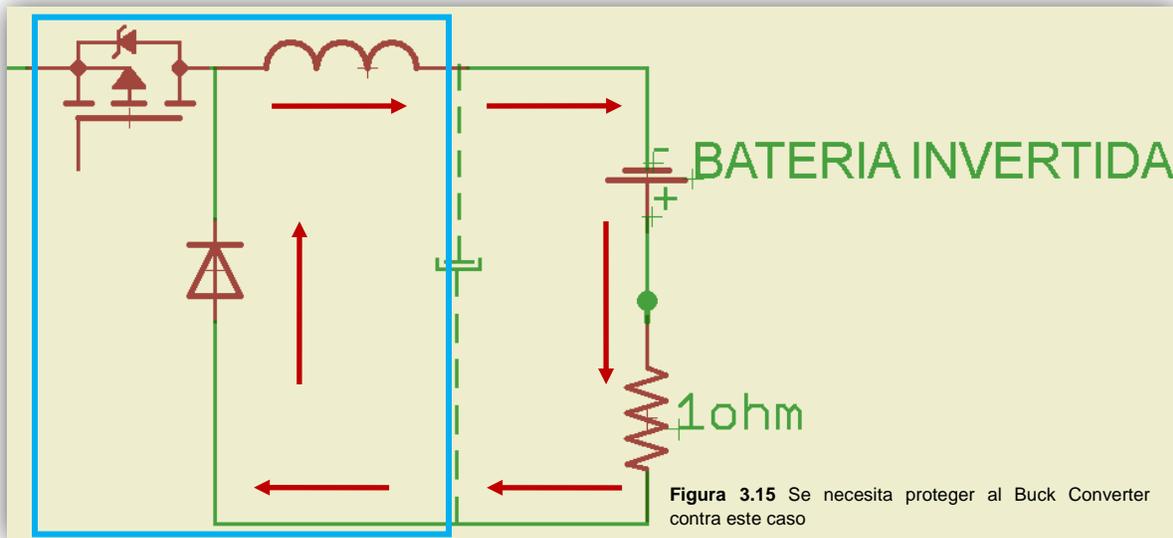
[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.2.1.3. Diseño de Protecciones

Todo diseño debe contemplar protecciones mínimas para el prototipo, con la finalidad de protegerlo e indirectamente para proteger al usuario.

3.2.1.3.1. Protección Contra Polaridad Invertida

Es de importancia vital, puesto que por la topología propia del Buck Converter (resaltado en azul), la inversión de la polaridad de la batería, en caso de no estar protegido el circuito, pudiera dañar severamente la integridad física de varios componentes. Véase la Figura 3.15.



Si esta condición se diera, una corriente sólo limitada por la resistencia sensora (1Ω) se establece en la malla mostrada.

La solución adoptada comprende un segundo MOSFET (Figura 3.16), el cual es controlado apropiadamente por el microcontrolador, de modo que solo bajo las condiciones de presencia de Batería con Polaridad Correcta sean verificados, dicho MOSFET estará en conducción.

De esta forma, no hay posibilidad de establecimiento de corriente en la malla mencionada.

La resistencia R_s asegura la condición de No Conducción (corte) incluso cuando todo el circuito esta desenergizado.

El gobierno desde el PIC mediante una señal de nivel TTL se logra a través de un transistor que

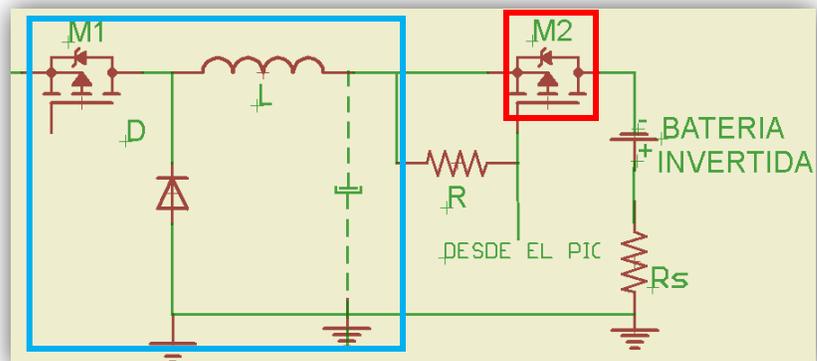


Figura 3.16 MOSFET M2 como solución al problema anteriormente planteado (cuadro en rojo) cuadro azul Buck Converter.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

establece la polarización de conducción adecuada (Gate a Tierra) en el MOSFET M2 cuando hay un 1 lógico ($V_b = 5V$) a la salida del PIC (Figura 3.17). Para la saturación y corte del transistor se tomaron las mismas condiciones que en el circuito de control, el MOSFET M2 es idéntico al MOSFET M1 del Buck Converter, por lo tanto, el calculo para la resistencia de base es el mismo.

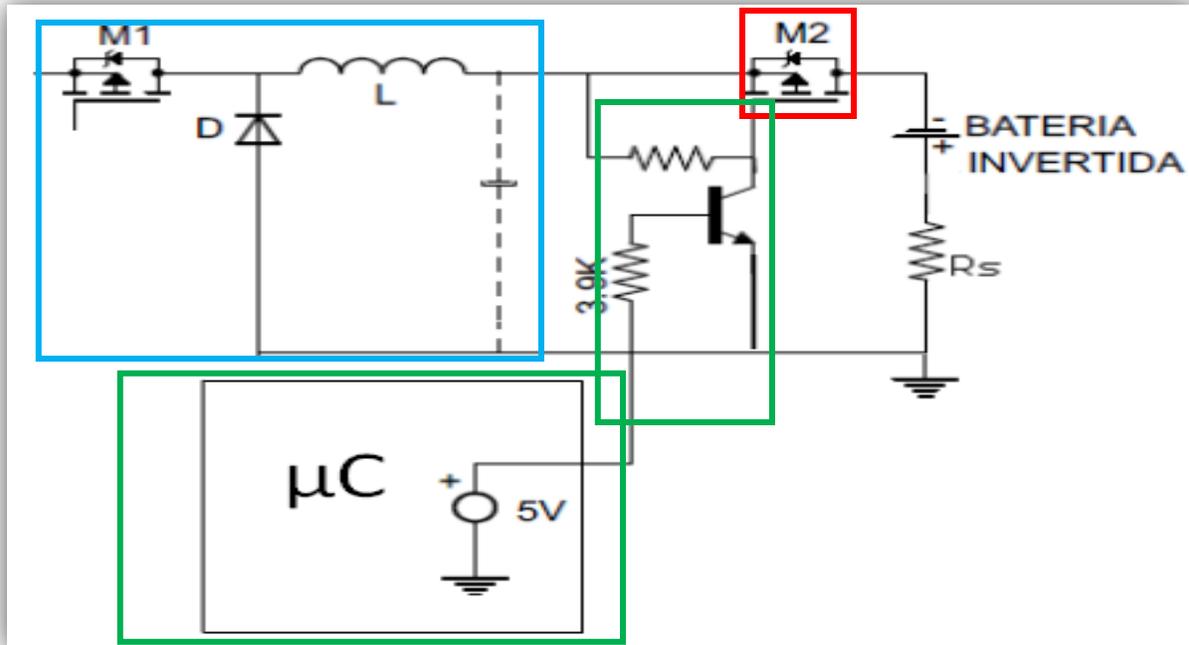
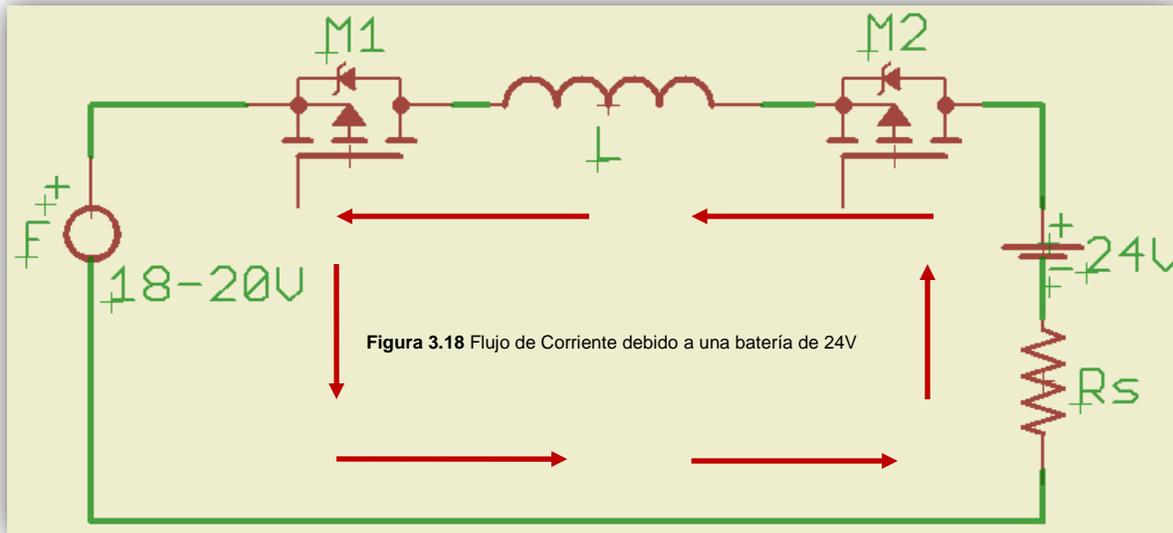


Figura 3.17 Segundo MOSFET (resaltado en rojo) controlado por el microcontrolador (resaltado en verde) para la protección del Buck Converter (resaltado en azul)

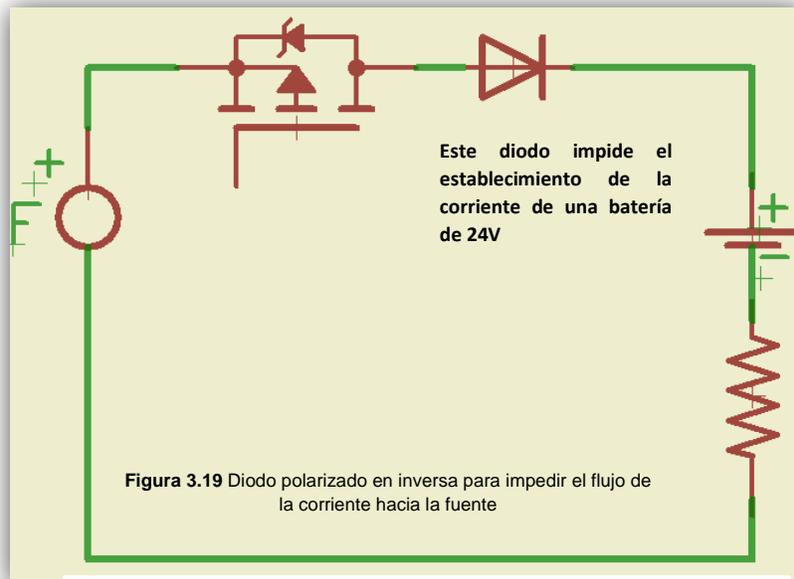
[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.2.1.3.1. Protección una Batería de Voltaje Superior (24V)

Si se conectase por error una batería de un voltaje nominal 24V, lo cual es superior al valor de la fuente de entrada, una corriente se establecería en la malla mostrada a través de los diodos integrados en los MOSFETS; inclusive estando el circuito desenergizado (Figura 3.18).



Para prevenirlo es necesario insertar un diodo (Figura 3.19) que quede polarizado inversamente e impida que dicha corriente se establezca.



[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.2.1.4. Diseño de Sensores

El diseño de sensores representa una parte muy importante del proyecto, ya que con estos se tiene la lectura en todo momento de la carga de la batería, así también van implícitos dentro de los sensores la protección contra corto circuito y los umbrales de voltaje y corriente (etapas de carga) mencionados al principio de este capítulo.

3.2.1.4.1. Sensor de Tensión y Voltímetro

No es posible para el PIC, cuyo rango dinámico de entrada para el ADC es de 0 a 5V, medir directamente una tensión superior de manera más sencilla se logra al adecuar los rangos de voltaje para el microcontrolador sea a través de un divisor de tensión (Figura 3.20).

Habiendo elegido por una combinación de $R_1 = 4.7K\Omega$ y $R_2 = 1K\Omega$ que refiera los valores de voltaje que interesan aproximadamente a $1/2$ del rango dinámico de entrada del ADC del microcontrolador (2.5V aproximadamente), se tiene:

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1K\Omega}{4.7K\Omega + 1K\Omega} = \frac{1K\Omega}{5.7K\Omega}$$

$$k = 0.1754385965$$

$$V_0 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_0 = Vk$$

El resultado entregado por el ADC del microcontrolador para las condiciones en que es utilizado en el proyecto será: $ADCr = \frac{V_{in}}{V_{ref}}(2^n - 1)$

El voltaje de entrada del ADC del microcontrolador es el voltaje de salida del sensor, de modo que sustituyendo V_{in} por la expresión obtenida para V_0 se tiene:

$$ADCr = \frac{kV}{5}(1023)$$

$$ADCr = \frac{(0.1754385965)(1023)}{5}V$$

$$ADCr = 35.89473684V$$

Despejando ahora a V para colocarla en función de la lectura del ADC nos queda que:

$$V = \frac{1}{35.89473684}ADCr$$

$$V = (0.02785923754)ADCr$$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
[10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
[11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
[12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
[13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

No obstante, el ADC del PIC18F4550 tiene un error asociado a su medición de hasta +/- 3.5LSB.

En otras palabras, el valor del voltaje obtenido al evaluar la expresión anterior a partir de una lectura del ADC contendrá un error de hasta:

$$E_{rrr} = \pm(3.5)(0.02785923754)V$$

$$E_{rrr} = \pm 0.0975V$$

Aunque puede que en algunos casos no ser relevante, es importante saber que dicho error esta presente en las lecturas tomadas.

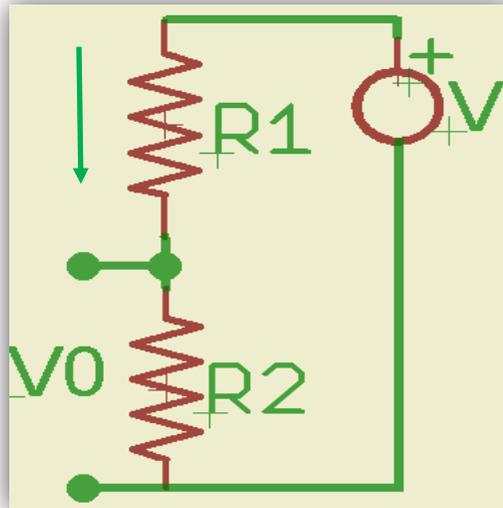


Figura 3.20. Circuito divisor de tensión / sensor de voltaje

3.2.1.4.2. Sensor de Corriente y Amperímetro

Para sensar la corriente se adoptó un esquema tradicional: una resistencia en serie con la carga cuya corriente se desea medir, en el lado de baja tensión (conectado a tierra) (Figura 3.21).

Puesto que se deseaba no utilizar amplificadores adicionales, se decidió utilizar un valor de R capaz de engendrar sobre si una caída de tensión tal, para las corrientes que se desea medir para que sea visible por el ADC del PIC.

El valor seleccionado, por practicidad matemática fue de 1Ω , de modo que:

$$V_0 = I_b R$$

$$V_0 = I_b (1\Omega)$$

$$V_0 = I_b \text{ Volt}$$

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

El resultado entregado por el ADC [13] es:

$$[13] ADCr = \frac{V_{in}}{V_{ref}} (2^n - 1)$$

Sustituyendo V_{in} por el voltaje de salida del sensor, tenemos:

$$ADCr = \frac{I_b}{V_{ref}} (2^n - 1) = \frac{I_b}{5} 1023 = \frac{1023}{5} I_b$$

$$ADCr = (204.6)(I_b)$$

Despejando I_b para ponerla en función de la lectura del ADC nos queda entonces:

$$I_b = \frac{1}{204.6} ADCr$$

$$I_b = (0.004887585) ADCr$$

El error del ADC (ver nota al respecto en la parte del voltímetro) obviamente esta presente. La magnitud del error contenido en una lectura podrá ser de hasta:

$$E_{rr} = \pm(3.5)(0.004887585)$$

$$E_{rr} = \pm 0.0171A = \pm 17.1mA$$

Es un valor del cual se debe de estar consiente al momento de valorar la calidad de las lecturas.

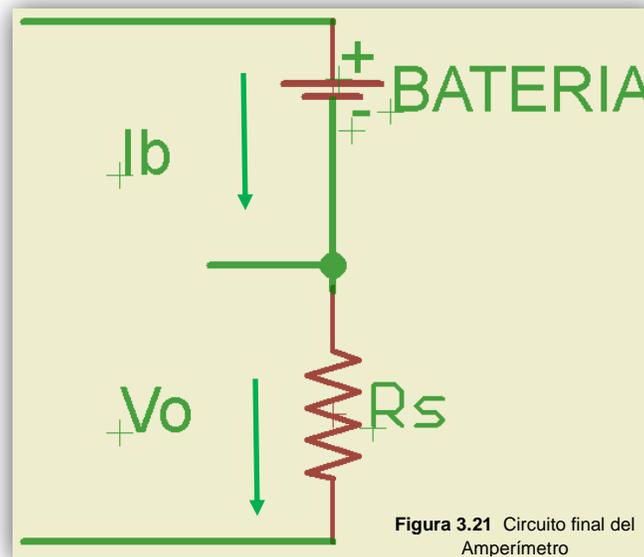


Figura 3.21 Circuito final del Amperímetro

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.2.1.4.3. Batería con Polaridad Invertida

Cuando a los bornes del cargador se conecta una batería con la polaridad invertida el escenario eléctrico que se presenta se ilustra en la Figura 3.22.

Como se observa, una pequeña corriente se establece en la malla mostrada. Por lo tanto, es necesario puntualizar dos casos:

1. La caída de tensión V_o (Sensor de Voltaje) es negativa de modo que habrá de proteger esta línea con un diodo inversamente polarizado, tal como se hizo para el sensor de corriente, de modo que el PIC no vea una tensión negativa mas allá de los -0.7V.
2. Esta corriente, que por otra parte genera una caída de tensión de polaridad correcta en R_s , es muy pequeña para dicha caída sea visible para el ADC del PIC.

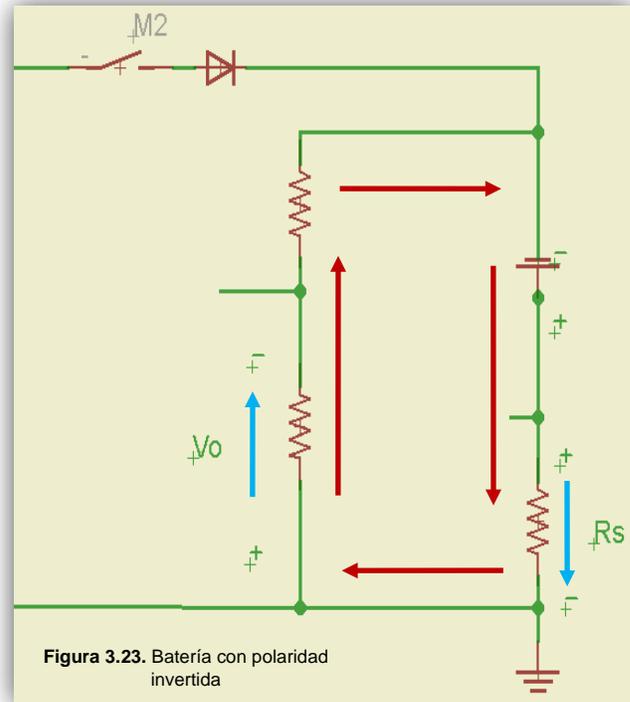


Figura 3.23. Batería con polaridad invertida

La solución empleada (evadiendo el uso de amplificadores externos adicionales), consistió en proveer una rama de menor resistencia (Figura 3.24) que funcionaria para este escenario de polaridad de la batería y que; en consecuencia, hiciera circular una corriente mayor que engendrara una V_o (Voltaje de Salida) en R_s suficientemente alto para resultar visible para el ADC del PIC.

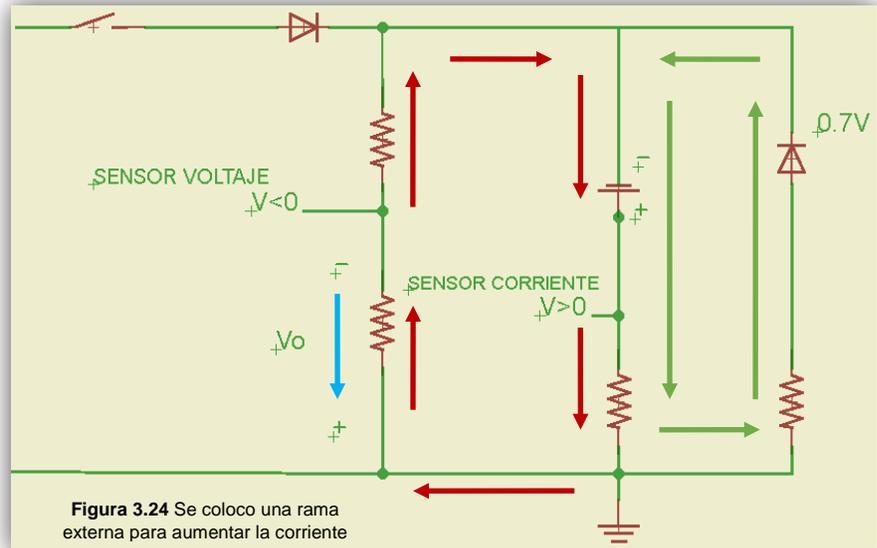


Figura 3.24 Se colocó una rama externa para aumentar la corriente

El Voltaje de Salida resultante a la salida del sensor de corriente, ahora si resulta de una magnitud visible para el ADC del microcontrolador.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

De modo que se tienen estas dos condiciones:

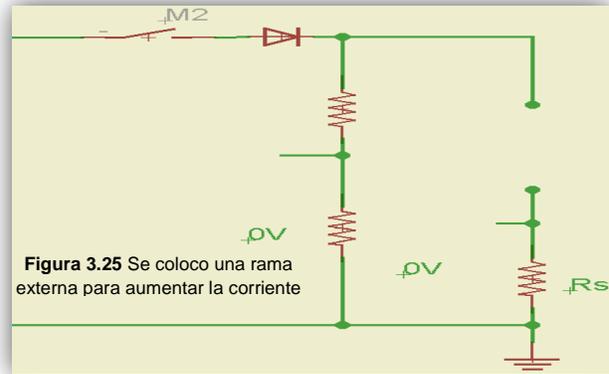
- ✓ *Lectura de Voltaje* = 0 (recuérdese que V_o de voltaje será Negativo).
- ✓ *Lectura de Corriente* > 0 (el valor no es lo relevante).

3.2.1.4.4. No Batería Conectada

Es el escenario eléctrico más sencillo, pues como se aprecia en la Figura 3.25, tanto las lecturas de los sensores de voltaje como de corriente resultan ser nulas:

Por tanto:

- ✓ *Lectura de Voltaje* = 0
- ✓ *Lectura de Corriente* = 0



3.2.1.4.5. Batería Conectada con Polaridad Correcta

Cuando en los bornes del cargador se conecta una batería, se dan las siguientes condiciones:

- ✓ A la salida del sensor de voltaje $V_o = V_B k$. Es decir, si habrá lectura de voltaje.
- ✓ A la salida del sensor de corriente la salida será nula. Aunque en realidad habrá una corriente circulando a través de la batería, de R_s , de R_1 y R_2 , esta será negativa (Figura 3.25) y por tanto no resulta visible para el ADC del PIC, que en consecuencia será 0.

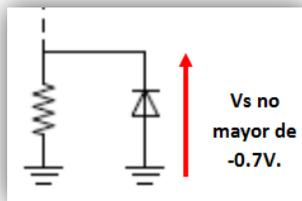
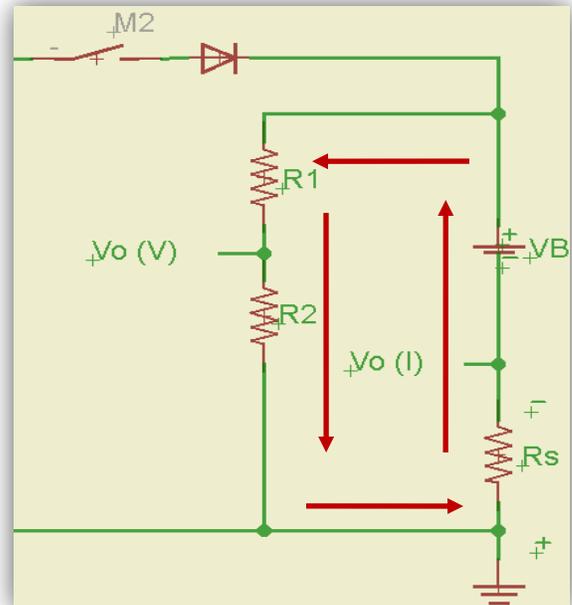


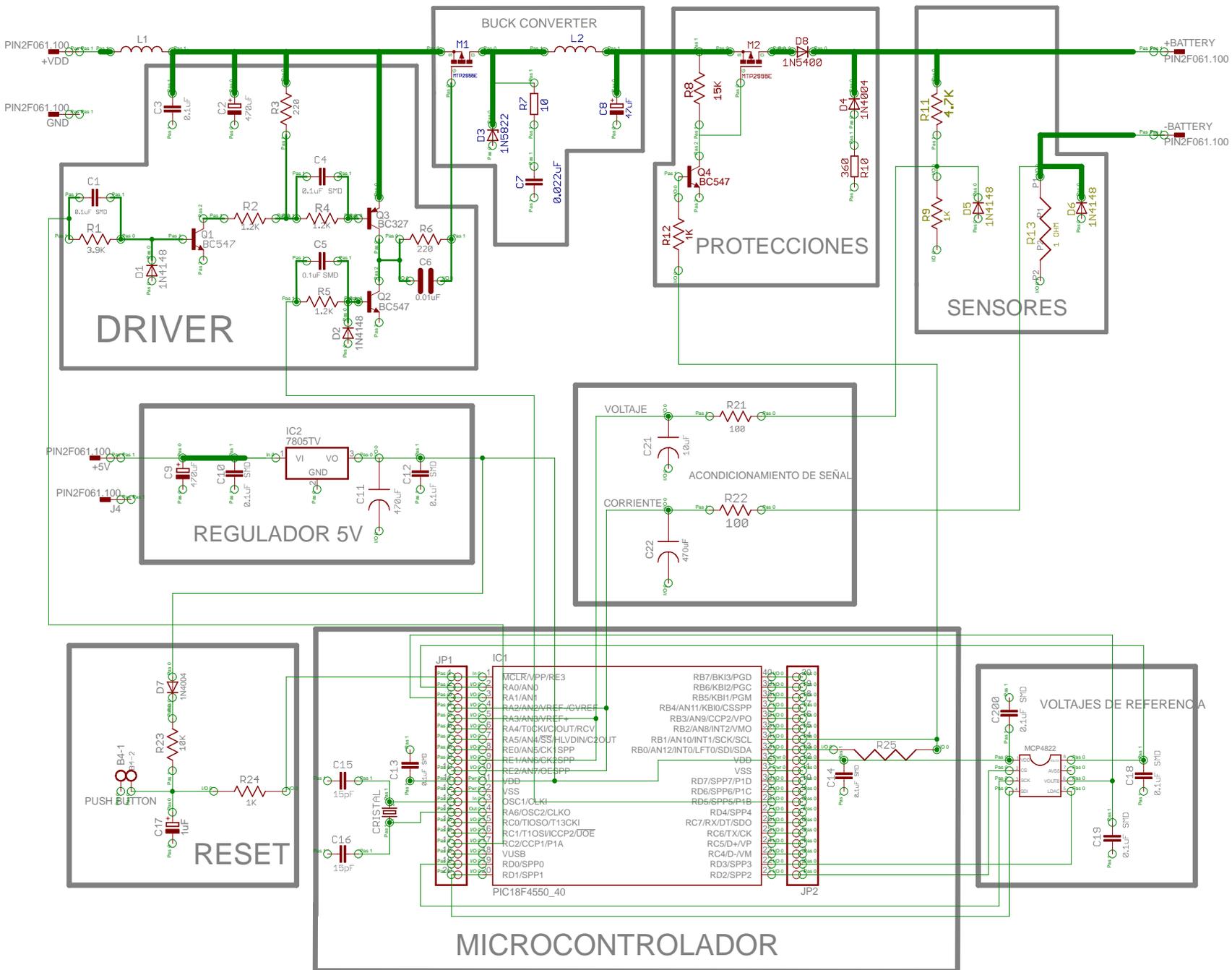
Figura 3.25 Como protección, para limitar la tensión negativa que vera el PIC, se ha puesto un diodo en paralelo con R_s con la polaridad apropiada



Cuando ambas condiciones se dan, hay batería conectada con polaridad correcta.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.2.2. CARGADOR INTELIGENTE PARA BATERIAS ACIDO-PLOMO



- [9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
- [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
- [11] <http://www.powerstream.com/SILA.htm>
- [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
- [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.2.3. Diagrama de Flujo (Parte I)

El inicio de carga precisa en que estado de polaridad se encuentra conectada la batería, si se encuentra con polaridad correcta inicia el proceso de carga

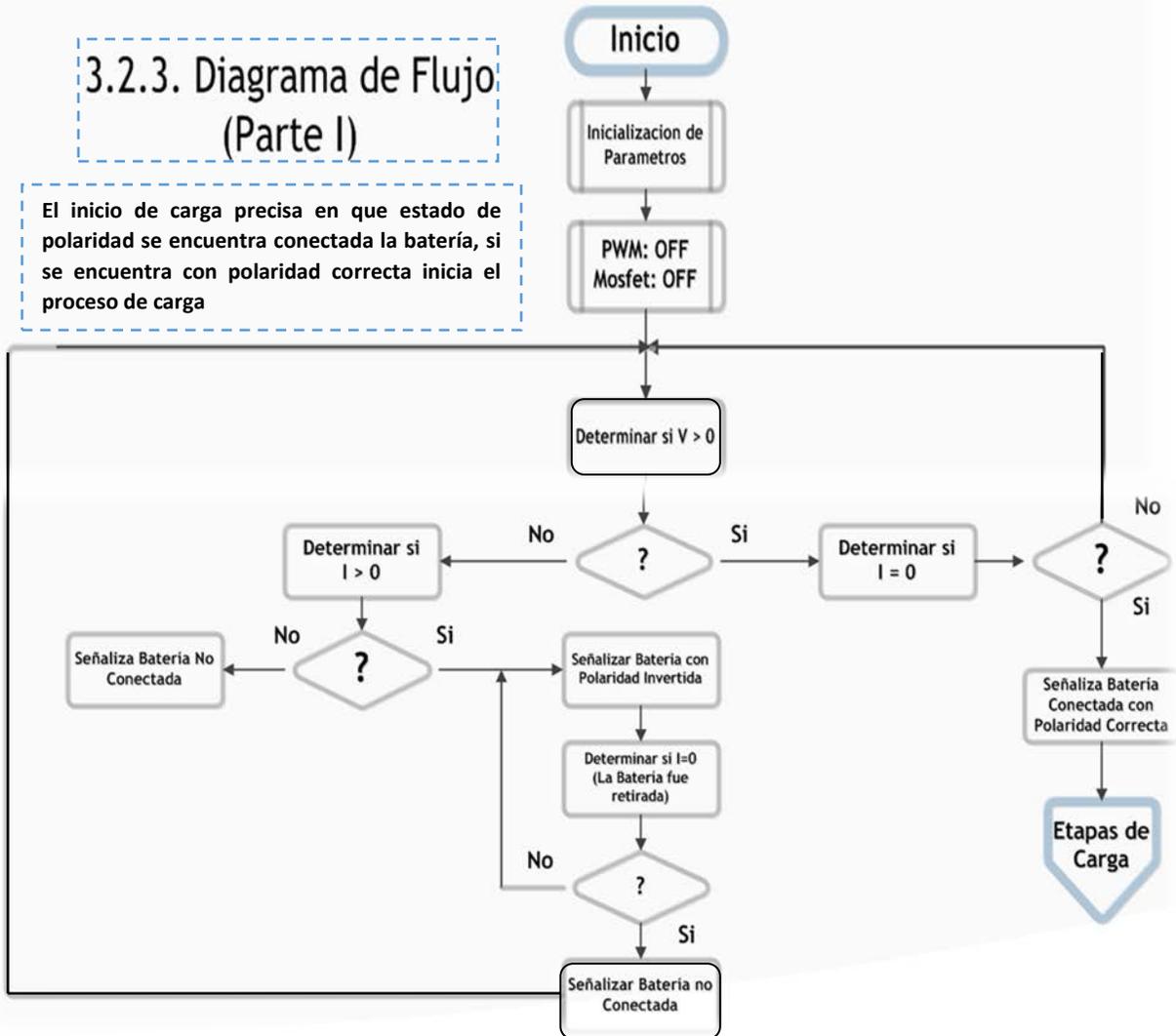


Figura 3.27a el programa arranca bajo condiciones de apagado, hasta que detecta voltaje o corriente en los bornes del cargador, determina si se encuentra en condiciones de cargar la batería

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

Diagrama de Flujo (Parte II)

Este diagrama describe el proceso de carga la batería, así como los parámetros en los que se inicia dicho proceso

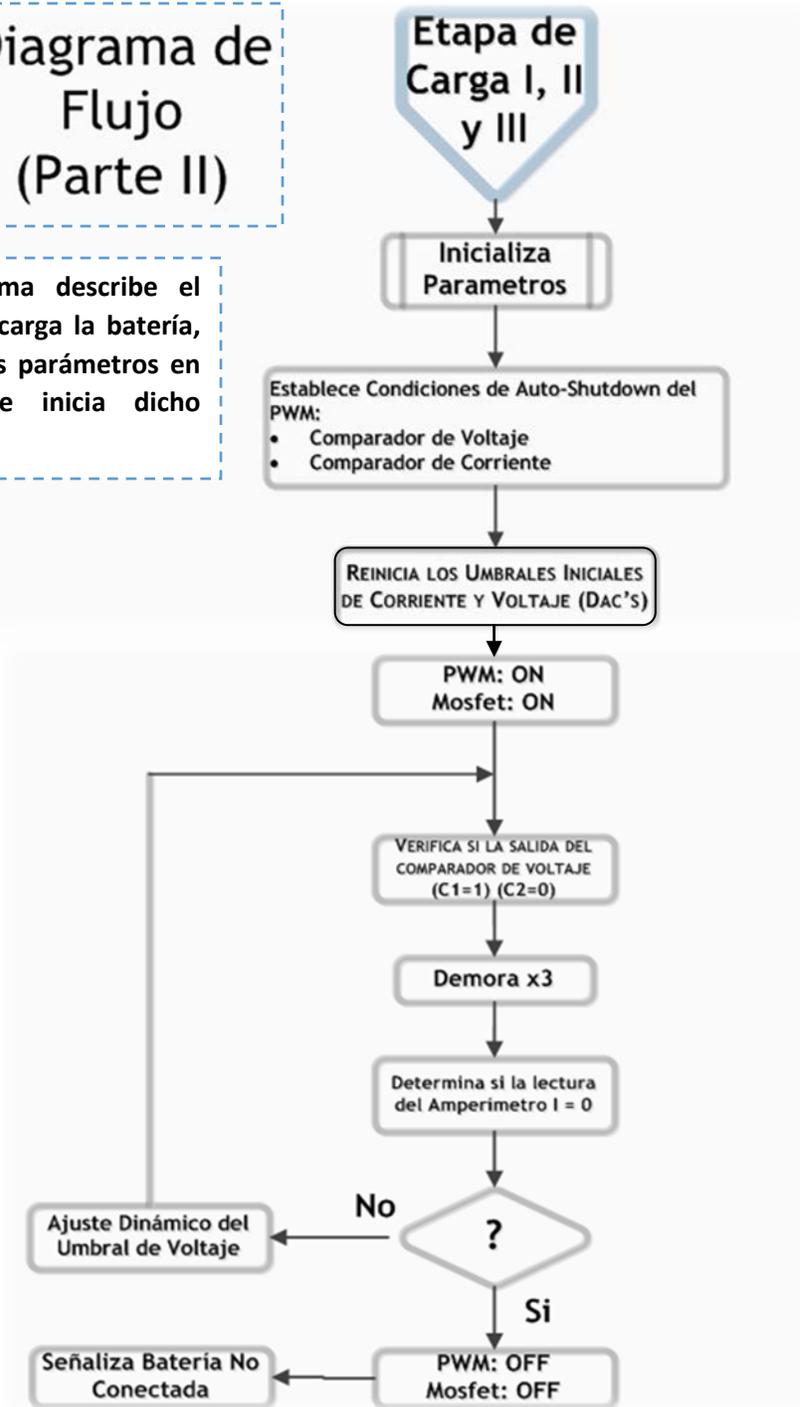


Figura 3.27b Diagrama de flujo donde se inician los procesos de carga de la batería

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.3. Pruebas y Resultados

Este proyecto conto con una evolución, ya que fue necesario agregar más hardware (componentes) y modificaciones al programa con lo cual se contemplaron 3 diseños, dos de los cuales se detallan en esta sección y el último en la sección de Construcción del Prototipo:

- 1) El primer prototipo (versión 1) contemplo la implementación de un conector RJ-11 con lo cual se podría programa al microcontrolador, además de inclusiones de capacitores para tratar de eliminar el ruido, ya que disparaba a los comparadores del microcontrolador, generando activaciones de etapas de carga. Debido a las altas frecuencias que se manejan en el prototipo, no se hicieron simulaciones, el objetivo de esta primera placa era controlar el PWM con lo cual se controlaba la tensión y corriente hacia la batería.

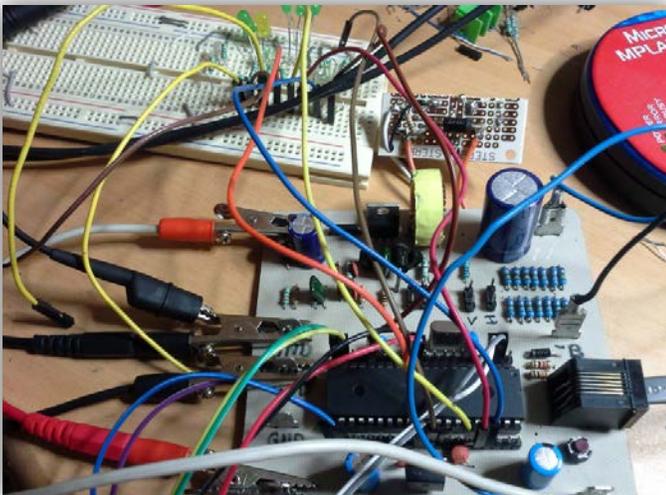


Figura 3.26. Versión 1 del Cargador de Baterías

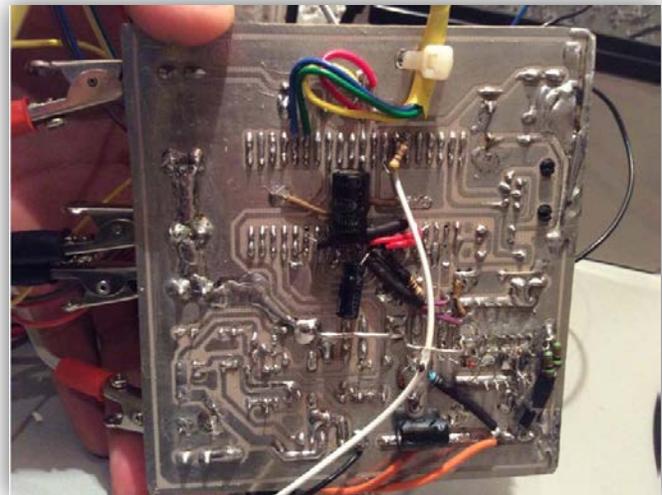


Figura 3.27. Versión 1 del Cargador de Baterías: se colocaron capacitores extras debido al ruido, esto disminuyo notablemente el ruido sobre la señal

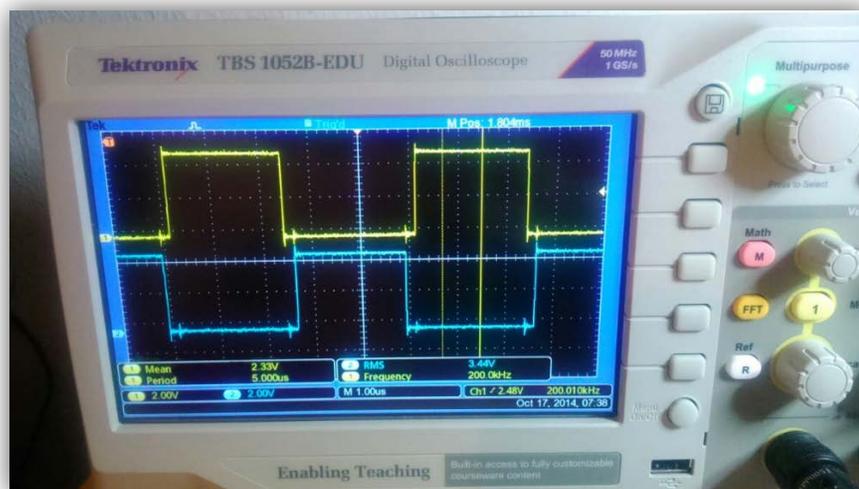


Figura 3.28. Versión 1 del Cargador de Baterías: se logro con éxito el control del PWM,

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

- 2) El segundo prototipo anexa todos los componentes en forma ordenada y simétrica de la primera versión, evitando el uso de conexiones con cables entre componentes y dejando un circuito mejor estructurado y firme, todo esto logro atenuar considerablemente el ruido y tener por fin control de las tres etapas de carga.

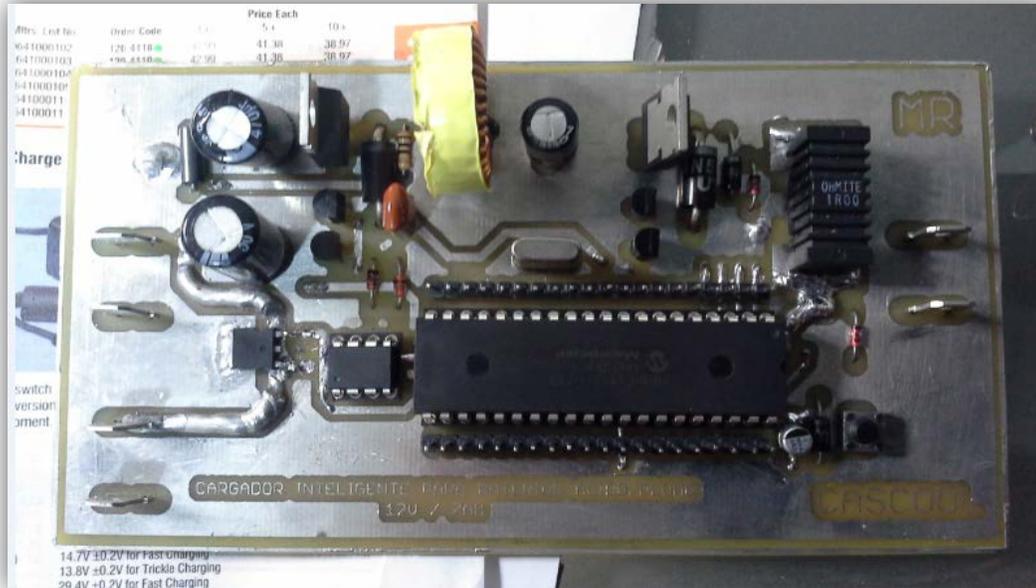


Figura 3.29. Versión 2 del Cargador de Baterías: circuito más estructurado y firme, con componentes de SMD e inserción logrando una simetría muy buena.

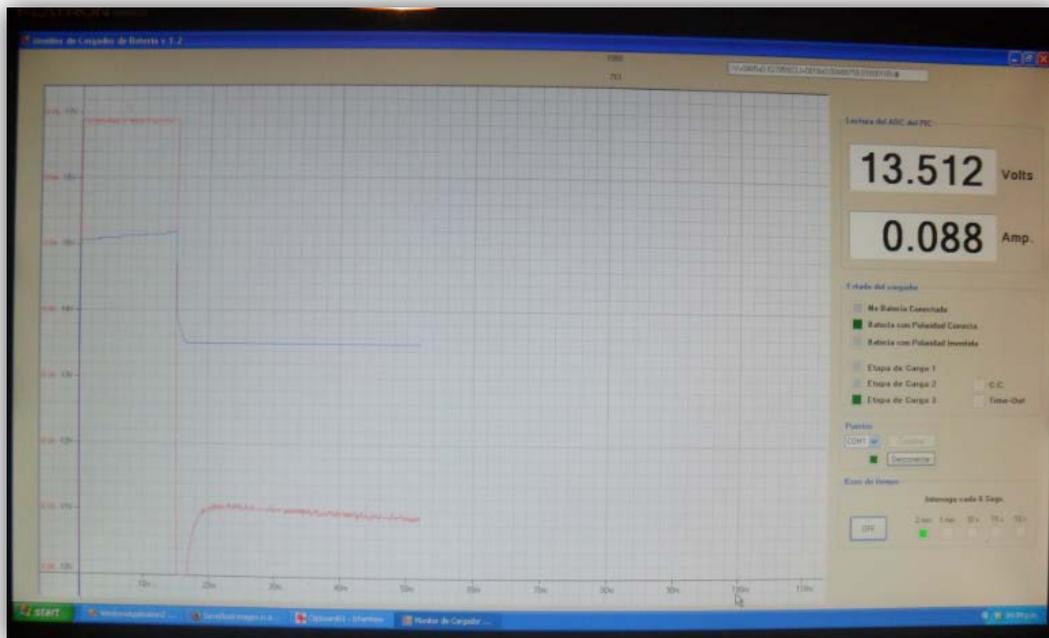


Figura 3.30. Versión 2 del Cargador de Baterías: el control de proceso de carga se logro con éxito

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

3.4. Construcción del Prototipo

Finalmente, la versión 3 es prácticamente igual a la versión 2, con la diferencia que este cuenta con un capacitor en paralelo con la batería, con el objetivo de atenuar los estados transitorios que pudiera generar la batería en el proceso de carga, mostrando un mejor comportamiento en su grafica y siendo esta la versión final del proyecto.

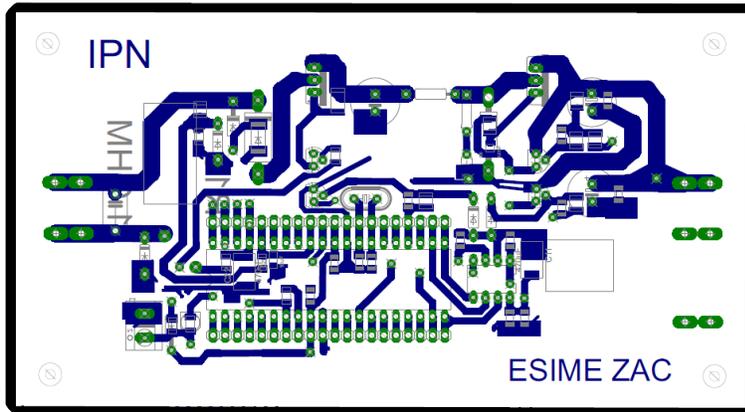


Figura 3.30. Versión 3 del Cargador de Baterías: Parte inferior del circuito

Figura 3.31. Versión 3 del Cargador de Baterías: Parte superior del circuito

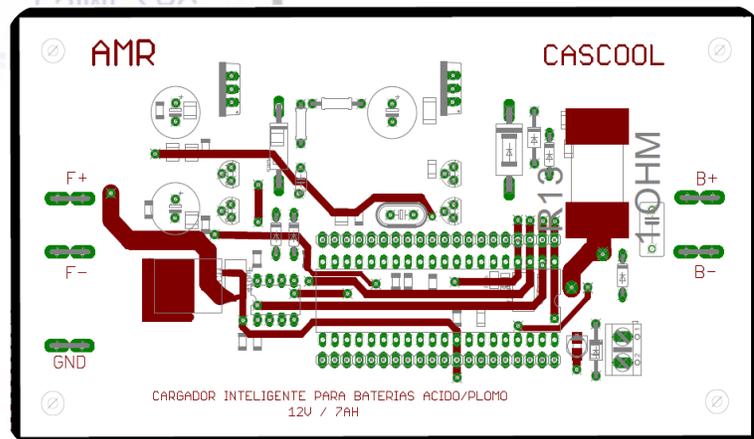
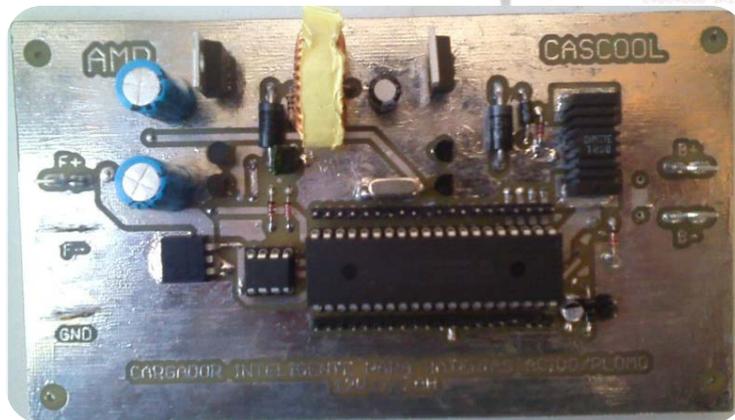


Figura 3.32. Versión 3 del Cargador de Baterías: Parte superior del circuito



[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>

Figura 3.33. Versión 3 del Cargador de Baterías: Parte inferior del circuito

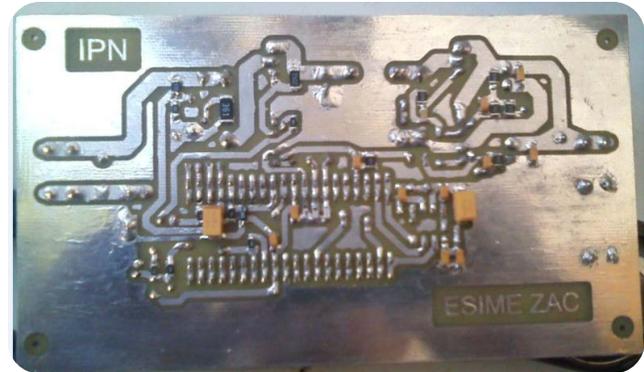


Figura 3.34. Prototipo Finalizado



Conclusión del Capítulo III: con las bases de los Capítulos I y II, se determinaron los umbrales de voltaje y corriente (etapas de carga) dando paso así al diagrama a bloques, desarrollando cada uno de ellos. Esta sección, una de las mas importantes demuestra que con conocimientos y bases bien fundamentadas del funcionamiento de dispositivos semiconductores, con experiencia previa en desarrollo y construcción de proyectos se concluye este sección con muy buenos resultados de prueba y finalizando con el prototipo final.

[9] NP7-12 Hoja Técnica, Anexo
 [10] MCP4822 Hoja Técnica, Anexo
 [11] <http://www.powerstream.com/SLA.htm>
 [12] <http://www.microchip.com/examples/buckconverter.htm>
 [13] <http://www.microchip.com/PIC18F4550/datasheet.htm>



Viabilidad Económica y de Mercado

El precio del proyecto puede variar conforme a las especificaciones del cliente. Están elaboradas por ingenieros del IPN, sinónimo de alta calidad y confianza

Viabilidad Económica y de Mercado

En este último capítulo se integran todos los elementos que conforman al proyecto, tanto en costos como en un análisis de mercado con la finalidad de saber la viabilidad del producto a largo plazo.

4.1 Costos

En la siguiente tabla se muestra el costo por pieza:

COMPONENTE	ELEMENTO	MARCA	PIEZAS	TIPO	COSTO * PIEZA	TOTAL (\$)
DIODOS	1N5822		1	INSERCIÓN	3	3
	1N5400		1	INSERCIÓN	3	3
	1N4004		2	INSERCIÓN	2	4
	1N4148		4	INSERCIÓN	1	4
	LLD		6	INSERCIÓN	2	12
	REGULADORES		LM7805	1	INSERCIÓN	10
TRANSISTORES	BC547		3	INSERCIÓN	2	6
	BC327		1	INSERCIÓN	2	2
CAPACITORES	MTP2955E		2	INSERCIÓN	20	40
	0.1µF/50V Tantalio		11	SMD	1	11
	47µF/50V Electroлитico		1	INSERCIÓN	8	8
	470µF/50V Electroлитico		3	INSERCIÓN	9	27
	0.022µF/50V Tantalio		1	INSERCIÓN	2	2
	15pF/50V Tantalio		1	SMD	1	1
RESISTENCIAS	10µF/50V		1	SMD	1	1
	1µF/50V Electroлитico		1	SMD	1	1
	0.01µF/50V Tantalio		1	SMD	1	1
	1.2KΩ/0.5W al 1%		3	SMD	2	6
	10/5W al 1%		1	SMD	10	10
	1KΩ/0.5W al 1%		3	SMD	1	3
	220Ω/0.5W al 1%		2	SMD	1	2
	3.9KΩ/0.5W al 1%		1	SMD	1	1
	360Ω/0.5W al 1%		1	SMD	1	1
	15KΩ/0.5W al 1%		1	SMD	1	1
	100Ω/0.5W al 1%		2	SMD	1	2
	4.7KΩ/0.5W al 1%		1	SMD	1	1
	10KΩ/0.5W al 1%	1	SMD	1	1	
	100/0.5W al 1%	1	SMD	1	1	
1.2KΩ/0.5W al 1%	2	SMD	1	2		
CIRCUITO INTEGRADO	MCP4822		1	INSERCIÓN	30	30
MICROCONTROLADOR	PIC18F4550		1	INSERCIÓN	100	100
OTROS	Chasis		1	ALUMINIO	200	200
	Cable Rojo y Negro #22		2m	COBRE	7	14
	Push Button		1	INSERCIÓN	5	5
	Conector Banana Hembra		4	CHASIS	3	12
	Borneras		2	INSERCIÓN	5	10
Placa (30x30cm) Doble Cara	1	FIBRA DE VIDRIO	50	50		
					TOTAL	594

Tabla 4.1. Costo por pieza del prototipo

[14] <http://www.steren.com>

[15] <http://www.agelectronica.com>

[16] <http://www.newark.com>

4.2 Análisis de Mercado

Existe una gran variedad de cargadores para Baterías Ácido-Plomo tanto a nivel comercial (para usuarios que lo requieren sencillo en su funcionamiento), así como a nivel industrial, en la cual se tiene que mantener una constante vigilancia para que la batería, debido a un mal funcionamiento del cargador pueda causar algún daño a la misma (sulfatación, calentamiento o inclusive derramamiento del líquido).

Para esto, se seleccionaron tres cargadores de diferentes marcas para hacer una comparación en material, funcionamiento, protecciones y costos.



STEREN	\$320
Características	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chasis de Plástico ▪ Led Indicador con dos colores de Carga
Origen	Importado

Figura 4.1 Cargador STEREN



AG Electrónica	\$615
Características	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chasis de Plástico ▪ 2 Leds Indicadores de Carga ▪ Protección contra Corto Circuito
Origen	Importado

Figura 4.2 Cargador de AG Electrónica

[14] <http://www.steren.com>
 [15] <http://www.agelectronica.com>
 [16] <http://www.newark.com>



MASCOT	\$2250
Características	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chasis de Plástico ▪ Led Indicador con tres colores de Carga ▪ Protección contra polaridad invertida con fusible
Origen	Importado

Figura 4.3 Cargador MASCOT



IPN	\$600
Características	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chasis de Metal ▪ 3 Leds Indicadores para visualizar estado de carga ▪ 2 Leds Indicadores : <ul style="list-style-type: none"> • No Batería Conectada • Batería con Polaridad Invertida ▪ Protección contra corto circuito ▪ Software para seguir proceso de carga
Origen	Nacional

Figura 4.4 Cargador Electrónico Inteligente para Baterías Ácido-Plomo

[14] <http://www.steren.com>
 [15] <http://www.agelectronica.com>
 [16] <http://www.newark.com>

4.3 Precios de Venta y Estrategia de Mercadotecnia

Como se observa en las tablas anteriores, los cuatro cargadores muestran de uno a dos indicadores tipo Led para el estado de carga de la batería, el diseñado por nosotros cuenta con tres leds independientes, con la finalidad que el usuario sepa en que nivel de carga se encuentra la batería.

Por otro lado, el chasis de los tres cargadores es de plástico, mostrando una sencillez del producto, el desarrollado en esta tesis es de la marca TORT, marca a nivel nacional que se caracteriza por elaborar productos de alta calidad y durabilidad, dando a nuestro producto una presentación excelente.

Un aspecto importante es la protección para la batería así también como para el usuario, sólo dos cuentan con esto, por un lado AG Electrónica [15] tiene la protección de corto circuito, en la cual el usuario puede juntar los cables positivo y negativo, el cargador no sufrirá ningún daño, pero si lo conecta con la polaridad invertida pueda que un sobre voltaje o corriente pueda dañar el equipo, aspecto que la marca MASCOT[16] tiene como protección con fusible en caso de una conexión con polaridad invertida. El desarrollado en este trabajo, contemplo estos dos casos, para el de polaridad invertida, el usuario podrá observar en un Led si realizó mal la conexión, para el segundo caso, el de corto circuito, tanto el equipo como el usuario no sufrirá algún daño.

Un plus de este proyecto a comparación de los otros equipos, es que cuenta con un software en el cual se puede mantener una vigilancia con el fin de observar el comportamiento de la batería durante el proceso de carga, pensado para nivel industrial.

En la parte de funcionalidad, este proyecto cuenta con una eficiencia del 90%, debido a que es un cargador de mantenimiento, ya que proporciona la corriente y voltaje que la misma batería necesite durante la carga.

Por último, el precio, por ser importados llegan a ser caros, el cargador que se realizó es de manufactura nacional, con elementos que se pueden adquirir en alguna tienda especializada en componentes electrónicos a costos accesibles. Sin embargo, el precio ronda alrededor de los \$600, en las siguientes tablas se muestra cuanto sería un precio final si se produjera a grandes cantidades, lo cual sería más accesible para el público:

Componentes	Cantidad	Precio (\$)	Cantidad a utilizar por Prototipo	Precio Total (\$)
Resistencia	10-99	0.50	18	9
Capacitor	10-99	0.65	20	13
Diodo	10-99	1.50	14	21
Transistor	10-99	1.20	6	7.20
Regulador	10-99	5	1	5
Circuito Integrado	10-99	1	15	15
Microcontrolador	10-99	1	65	65
Tabla 4.3a Precio por mas de 10 piezas			Total Componentes (\$)	135.20

[14] <http://www.steren.com>

[15] <http://www.agelectronica.com>

[16] <http://www.newark.com>



Otros	Cantidad	Precio (\$)	Cantidad a utilizar por Prototipo	Precio Total (\$)
Chasis	10-30	150	1	150
Cable	5m-10m	4.50	2m	9
Placa Doble Cara	10-20	40	10cm x 15cm	40
Push Button	10-99	.50	1	.50
Borneras	10-99	2.50	2	5
Conector Banana Hembra	10-99	0.50	4	2
Tabla 4.3b Precio por mas de 10 piezas			Total Otros (\$)	206.50

Sumando el total de las dos tablas queda:

Total Componentes (\$)	Total Otros (\$)	Total Final (\$)
132.20	206.50	338.70 ≈ 400

Tabla 4.4 Precio Final del proyecto al publico

Finalmente, se agregan los siguientes costos a la tabla anterior. Produciendo desde 10 a 99 piezas queda en un precio final de \$400, lo cual lo hace altamente competitivo con los cargadores antes mencionados, con una calidad mayor a la de STEREN [14] e igual o mejor que la de MASCOT.

[14] <http://www.steren.com>

[15] <http://www.agelectronica.com>

[16] <http://www.newark.com>

4.3 Proyectos Futuros

Los cargadores para este tipo de baterías son muy comunes, este proyecto inicialmente se considero para cargar baterías de 6V, 12V y 24V, pero se decidió utilizar la de 12V ya que era la que mas usos tiene, así como establecer una temperatura fija de 25°C, que es la que se tiene en el Distrito Federal, al desarrollar este trabajo, notamos que se pueden ampliar los rangos de operación que nosotros mismo establecimos tales como temperatura y voltaje de operación.

Encontramos que en el área de la industria, este tipo de equipos son altamente solicitados para operar en condiciones donde no puede llegar la electricidad, tal es el caso de PEMEX, que por medio de celdas solares, un cargador y una batería son necesarios para mantener en constante vigilancia ciertas zonas con cámaras de video vigilancia.

Concluyendo este último capítulo, el proyecto contempla un gran desarrollo a futuro tanto para el área industrial como comercial, en el cual en un mismo prototipo se puedan manejar los rangos de voltaje antes mencionados y trabajando a una temperatura que pueda ir desde los 10°C hasta los 40°C sin tener problemas durante largos períodos de tiempo y dando mantenimiento preventivo.



Figura 4.1. Cámara de video vigilancia con alimentación de una batería y cargador.

[14] <http://www.steren.com>

[15] <http://www.agelectronica.com>

[16] <http://www.newark.com>



CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto lo podemos definir como exitoso, ya que en un principio teníamos claro cual seria nuestro proyecto final, pero no lo enfocábamos a algo en específico (respecto al valor nominal de las baterías), con ayuda y consejo de nuestros profesores se delimito a manejar solo una, la Batería NP7-12, la cual es muy común.

Fruto del trabajo realizado durante un año, esta Tesis se ha logrado concretar, generando así el cumplimiento de lo que en algún principio tomamos como reto, dicho de otra manera, nuestro objetivo.

Objetivo cumplido gracias a la investigación y experimentación realizada durante varias semana, implementando conocimientos adquiridos en la escuela y otros aprendidos por medio de consultas en libros, internet y a la propia experimentación de prueba y error.

¿Qué aporta este trabajo a la sociedad? Aporta conocimientos y demuestra a todas las personas que no creen en los productos fabricados en México, que en este país se tiene la calidad y la inteligencia para realizar un aparato electrónico de esta índole, este cargador no se realiza en nuestro territorio y a nosotros nos llena de orgullo el demostrar que si se puede y que es 100% pensado y elaborado aquí, aporta nuevos conocimientos y experiencias.

El trabajo presentado es uno de nuestros mayores esfuerzos y nos complace saber que funciono como se esperaba.

BIBLIOGRAFÍA

1. Buchmann, I. (01 de 01 de 2003). *Battery University*. Recuperado el 21 de 04 de 2014, de <http://batteryuniversity.com>.
2. Anónimo. (5 de 12 de 2010). *Tecnología de las baterías*. Recuperado el 21 de 04 de 2014, de <http://www2.elo.utfsm.com>
3. Anónimo. (03 de 06 2009). *La Batería de Ácido-Plomo*. Recuperado el 23 de 04 de 2014, de http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf
4. Proyecto CONAMA/GTZ. Santiago Chile. *Guía Técnica sobre el manejo de baterías de Ácido-Plomo usadas*. Recuperado el 24 de 04 de 2014, de http://www.sinia.cl/1292/articles47018_recurso_1.pdf

GLOSARIO

Bombilla: Globo de cristal en el que se ha hecho el vacío y dentro del cual va colocado un hilo de platino, carbón, tungsteno, etc., que al paso de una corriente eléctrica se pone incandescente y sirve para alumbrar.

Galvanoplastia: Recubrimiento, por depósito electrolítico, de un cuerpo sólido con una capa metálica.

W/h: Watts por Hora.

A/h: Amperes por Hora.

C: Carga.

°C : Grados Celsius.

Wh/Kg: Watts Hora por cada Kilogramo.

Kg: Kilogramo (Unidad de masa).

V/celda: Voltaje por cada celda.

ASIMO: acrónimo de ("*Advanced Step in Innovative Mobility*") (paso avanzado en movilidad innovadora)

UPS: Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI/UPS).

USB: Universal serial Bus (Conector universal en serie).

Densímetro: Tipo de instrumento que sirve para determinar la densidad o el peso específico de los líquidos o de los sólidos.

Bulk: (Volumen o masa).

Converter: (Convertidor).

Absortion: (Absorción)

Float: (Flotación).

PIC: (Controlador Programable de Interrupciones).

LSB: (Low Significative Bit) Bit Menos Significativo.

Ripple: (Rizado) es la pequeña componente de ruido que queda tras rectificarse una señal.

PWM: (Pulse Wide Modulation) Modulación Por Ancho de Pulsos

DAC: (Digital to Analogic Conversor) Convertidor Digital a Analógico

ADC: (Analogic to Digital Conversor)

Bornes: Es cada una de las partes metálicas de una máquina o dispositivo eléctrico donde se produce la conexión con el circuito eléctrico exterior al mismo

ESR (*Effective Serial Resistance*) Resistencia en serie equivalente

ELS (*Effective Serial Inductance*) Inductancia en serie equivalente

TTL: (Transistor-Transistor Logic) Logica Transistor-Transistor



NP7-12 NP7-12FR

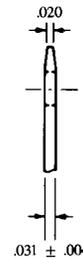
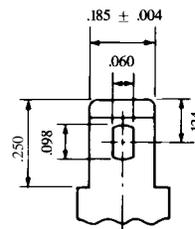
Sealed Rechargeable
Lead-Acid Battery

12V, 7.0Ah

Specifications

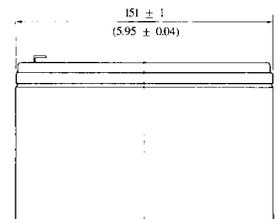
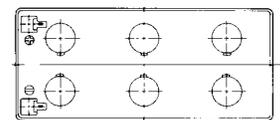
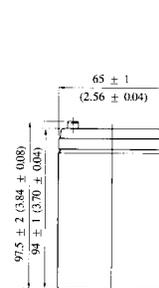
- **NOMINAL VOLTAGE:** 12V
- **NOMINAL CAPACITY:**
 - 20 hr. rate of 0.35A to 10.5V 7.0Ah
 - 10 hr. rate of 0.65A to 10.5V 6.5Ah
 - 15 hr. rate of 1.19A to 10.2V 5.95Ah
 - 1 hr. rate of 4.20A to 9.60V 4.2Ah
- **WEIGHT (approx.):** 6.17 pounds (2.64 kgs.)
- **ENERGY DENSITY (20 hr. rate):** 1.49 WH/cubic inch (91.0 WH/liter)
- **SPECIFIC ENERGY (20 hr. rate):** 13.6 WH/pound (30 WH/kg)
- **INTERNAL RESISTANCE OF CHARGED BATTERY:** 30 milliohms (approx.)
- **MAXIMUM DISCHARGE CURRENT WITH STANDARD TERMINALS:** 40 amperes
- **MAXIMUM SHORT-DURATION DISCHARGE CURRENT:** 210 amperes
- **OPERATING TEMPERATURE RANGE:**
 - CHARGE 5°F to 122°F (-15°C to 50°C)
 - DISCHARGE -4°F to 140°F (-20°C to 60°C)
- **CHARGE RETENTION (shelf life) at 68°F (20°C):**
 - 1 month 97%
 - 3 months 91%
 - 6 months 85%
- **LIFE EXPECTANCY:**
 - STANDBY USE** 3 to 5 years
 - CYCLE USE (approx.):**
 - 100% depth of discharge 250 cycles
 - 50% depth of discharge 550 cycles
 - 30% depth of discharge 1200 cycles
- **SEALED CONSTRUCTION:** Can be operated in any position without leakage.
- **STANDARD TERMINAL:** Quick Disconnect .187 or Optional .250
- **HOUSING MATERIAL:** ABS Resin
- **OPTIONAL:** Container and cover made from Flame Retardant ABS (UL94-V0/L.O.I.>28%)

Terminal



INCH = MM	
.250	6.35
.185	4.70
.124	3.15
.098	2.49
.060	1.52
.031	0.79
.020	0.51
.004	0.10

Dimensions



DIMENSIONS: MM (INCHES)

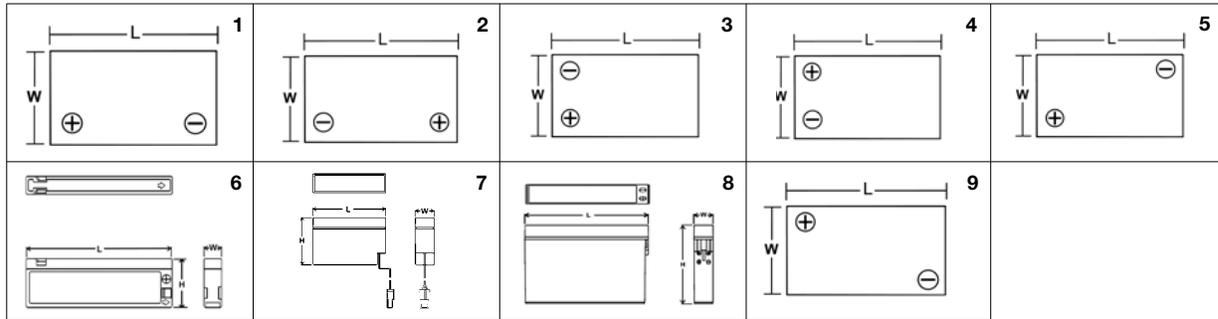
EnerSys™

Power/Full Solutions™

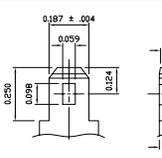
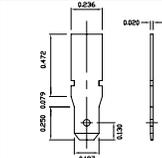
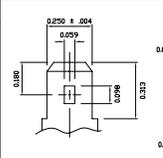
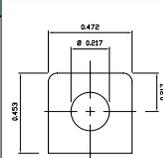
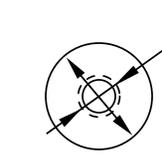
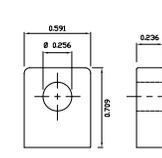
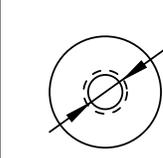
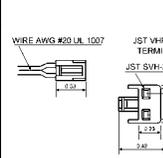
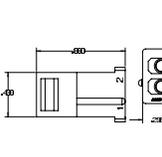
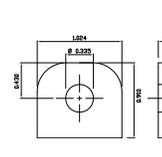
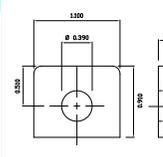
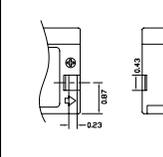
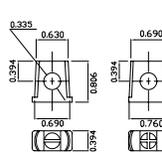


RECOGNIZED BY UL, File No. MH 16464

LAYOUT ILLUSTRATION



TERMINAL ILLUSTRATION

 <p>A INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.250</td><td>6.35</td></tr> <tr><td>0.187</td><td>4.75</td></tr> <tr><td>0.124</td><td>3.15</td></tr> <tr><td>0.098</td><td>2.49</td></tr> <tr><td>0.059</td><td>1.50</td></tr> <tr><td>0.031</td><td>0.79</td></tr> <tr><td>0.020</td><td>0.51</td></tr> <tr><td>0.004</td><td>0.10</td></tr> </table> <p>Faston Tab: 187</p>	0.250	6.35	0.187	4.75	0.124	3.15	0.098	2.49	0.059	1.50	0.031	0.79	0.020	0.51	0.004	0.10	 <p>B INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.472</td><td>11.99</td></tr> <tr><td>0.250</td><td>6.35</td></tr> <tr><td>0.236</td><td>5.99</td></tr> <tr><td>0.187</td><td>4.75</td></tr> <tr><td>0.130</td><td>3.30</td></tr> <tr><td>0.079</td><td>2.01</td></tr> <tr><td>0.020</td><td>0.51</td></tr> </table> <p>Faston Tab: 187</p>	0.472	11.99	0.250	6.35	0.236	5.99	0.187	4.75	0.130	3.30	0.079	2.01	0.020	0.51	 <p>C INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.313</td><td>7.95</td></tr> <tr><td>0.250</td><td>6.35</td></tr> <tr><td>0.180</td><td>4.57</td></tr> <tr><td>0.098</td><td>2.49</td></tr> <tr><td>0.059</td><td>1.50</td></tr> <tr><td>0.031</td><td>0.79</td></tr> <tr><td>0.020</td><td>0.51</td></tr> <tr><td>0.004</td><td>0.10</td></tr> </table> <p>Faston Tab: 250</p>	0.313	7.95	0.250	6.35	0.180	4.57	0.098	2.49	0.059	1.50	0.031	0.79	0.020	0.51	0.004	0.10	 <p>D INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.472</td><td>11.99</td></tr> <tr><td>0.453</td><td>11.51</td></tr> <tr><td>0.217</td><td>5.51</td></tr> <tr><td>0.079</td><td>2.01</td></tr> </table> <p>M5 Bolt Fastened Terminal</p>	0.472	11.99	0.453	11.51	0.217	5.51	0.079	2.01
0.250	6.35																																																								
0.187	4.75																																																								
0.124	3.15																																																								
0.098	2.49																																																								
0.059	1.50																																																								
0.031	0.79																																																								
0.020	0.51																																																								
0.004	0.10																																																								
0.472	11.99																																																								
0.250	6.35																																																								
0.236	5.99																																																								
0.187	4.75																																																								
0.130	3.30																																																								
0.079	2.01																																																								
0.020	0.51																																																								
0.313	7.95																																																								
0.250	6.35																																																								
0.180	4.57																																																								
0.098	2.49																																																								
0.059	1.50																																																								
0.031	0.79																																																								
0.020	0.51																																																								
0.004	0.10																																																								
0.472	11.99																																																								
0.453	11.51																																																								
0.217	5.51																																																								
0.079	2.01																																																								
 <p>E</p> <p>M5</p> <p>M5 Threaded Receptacle</p>	 <p>F INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.709</td><td>18.01</td></tr> <tr><td>0.551</td><td>14.00</td></tr> <tr><td>0.256</td><td>6.50</td></tr> <tr><td>0.236</td><td>5.99</td></tr> </table> <p>M6 Bolt Fastened Terminal</p>	0.709	18.01	0.551	14.00	0.256	6.50	0.236	5.99	 <p>G</p> <p>M6</p> <p>M6 Threaded Receptacle</p>	 <p>H INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.530</td><td>13.46</td></tr> <tr><td>0.420</td><td>10.67</td></tr> <tr><td>0.310</td><td>7.87</td></tr> <tr><td>0.230</td><td>5.84</td></tr> <tr><td>0.160</td><td>4.06</td></tr> </table> <p>JST No. VHR-2N</p>	0.530	13.46	0.420	10.67	0.310	7.87	0.230	5.84	0.160	4.06																																				
0.709	18.01																																																								
0.551	14.00																																																								
0.256	6.50																																																								
0.236	5.99																																																								
0.530	13.46																																																								
0.420	10.67																																																								
0.310	7.87																																																								
0.230	5.84																																																								
0.160	4.06																																																								
 <p>I INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.860</td><td>21.84</td></tr> <tr><td>0.530</td><td>13.46</td></tr> <tr><td>0.430</td><td>10.92</td></tr> <tr><td>0.295</td><td>7.49</td></tr> </table> <p>Tyco. 1-480318-0</p>	0.860	21.84	0.530	13.46	0.430	10.92	0.295	7.49	 <p>J INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>1.024</td><td>26.01</td></tr> <tr><td>0.910</td><td>23.11</td></tr> <tr><td>0.430</td><td>10.92</td></tr> <tr><td>0.335</td><td>8.51</td></tr> <tr><td>0.315</td><td>8.00</td></tr> </table> <p>M8 Bolt Fastened Terminal</p>	1.024	26.01	0.910	23.11	0.430	10.92	0.335	8.51	0.315	8.00	 <p>K INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>1.100</td><td>27.94</td></tr> <tr><td>0.910</td><td>23.11</td></tr> <tr><td>0.510</td><td>12.95</td></tr> <tr><td>0.390</td><td>9.91</td></tr> <tr><td>0.330</td><td>8.38</td></tr> </table> <p>M10 Bolt Fastened Terminal</p>	1.100	27.94	0.910	23.11	0.510	12.95	0.390	9.91	0.330	8.38	 <p>L INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.870</td><td>22.01</td></tr> <tr><td>0.550</td><td>13.97</td></tr> <tr><td>0.430</td><td>10.92</td></tr> <tr><td>0.230</td><td>5.84</td></tr> </table> <p>"Camcorder" Terminal</p>	0.870	22.01	0.550	13.97	0.430	10.92	0.230	5.84																		
0.860	21.84																																																								
0.530	13.46																																																								
0.430	10.92																																																								
0.295	7.49																																																								
1.024	26.01																																																								
0.910	23.11																																																								
0.430	10.92																																																								
0.335	8.51																																																								
0.315	8.00																																																								
1.100	27.94																																																								
0.910	23.11																																																								
0.510	12.95																																																								
0.390	9.91																																																								
0.330	8.38																																																								
0.870	22.01																																																								
0.550	13.97																																																								
0.430	10.92																																																								
0.230	5.84																																																								
 <p>M INCH = MM</p> <table border="1"> <tr><td>0.806</td><td>20.47</td></tr> <tr><td>0.760</td><td>19.30</td></tr> <tr><td>0.690</td><td>17.53</td></tr> <tr><td>0.630</td><td>16.00</td></tr> <tr><td>0.394</td><td>10.01</td></tr> <tr><td>0.335</td><td>8.50</td></tr> </table> <p>Note: Dimensions are in inches (mm) Tolerances are ± 0.02 in. for dimensions < 5mm ± 0.04 in. for dimensions ≥ 5mm ± 0.08 in. for all height dimensions unless otherwise specified.</p> <p>M8 "Universal" Bolt Fastened Terminal</p>				0.806	20.47	0.760	19.30	0.690	17.53	0.630	16.00	0.394	10.01	0.335	8.50																																										
0.806	20.47																																																								
0.760	19.30																																																								
0.690	17.53																																																								
0.630	16.00																																																								
0.394	10.01																																																								
0.335	8.50																																																								

Charging

- Standby use: Apply constant voltage charging at 2.275 volts per cell (or 2.25–2.30VPC).
- Cyclic use: Apply constant voltage charging at 2.40–2.50 VPC. Initial charging current should be set at less than 0.25CA.
- Top charge: Product in storage (ambient temperature 25°C/77°F) requires a top charge every six months. Apply constant voltage at 2.40 volts per cell, initial charging current should be set at less than 0.1CA for 15 to 20 hours.

Discharge

- Stop operation when voltage has reached the minimum permissible voltage. Recharge immediately.
- Do not operate at 6CA or more current continuously.

Storage

- Always store battery in a fully charged condition.
- If battery is to be stored for a long period, apply a recovery top-charge every 6 months.
- Store batteries in a dry and cool location.

Temperature

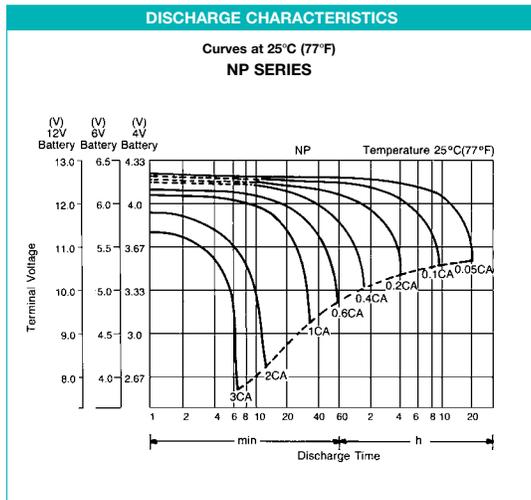
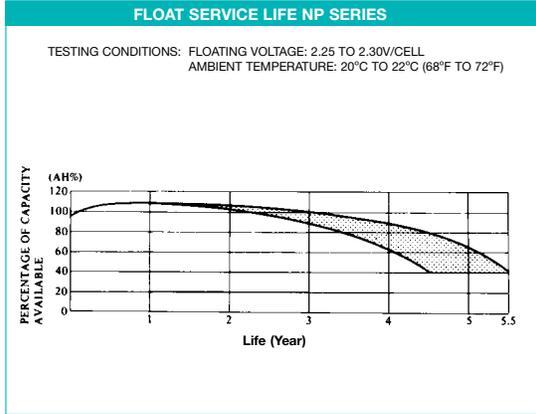
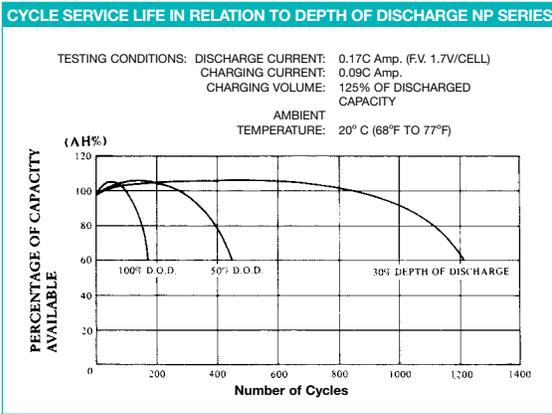
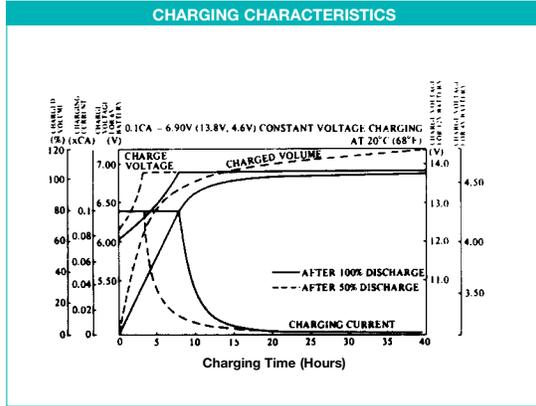
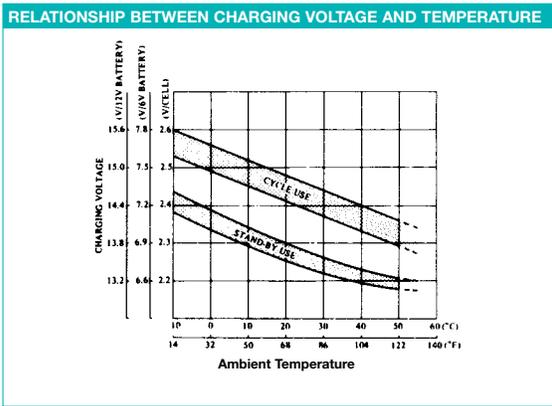
- Keep within ambient temperatures of –15°C to +50°C for both charging and discharging.

Incorporating battery into equipment

- Encase battery in a well ventilated compartment.
- Avoid installing battery near heated units such as a transformer.
- House the battery in the lowest section of the equipment enclosure or rack to prevent unnecessary battery temperature rise.

Others

- Avoid terminal short circuit.
- DO NOT expose to open flame.
- Avoid setting batteries in environments which can cause direct contact to gasoline, paint thinner, organic solvents, synthetic resins, oil, etc.



EnerSys
 P.O. Box 14145
 Reading, PA 19612-4145
 USA
 Tel: +1-610-208-1991
 +1-800-538-3627

EnerSys Europe
 Zurich, Switzerland
 Tel: +41 (0) 44 215 74 10

EnerSys Asia
 Guangdong, China
 Tel: +86 755 2689 3639

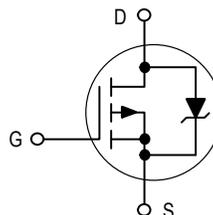
Distributed by:

© 2008 EnerSys. All rights reserved. Trademarks and logos are the property of EnerSys and its affiliates unless otherwise noted.

Designer's™ Data Sheet
TMOS E-FET™
Power Field Effect Transistor
P-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate

This advanced TMOS E-FET is designed to withstand high energy in the avalanche and commutation modes. The new energy efficient design also offers a drain-to-source diode with a fast recovery time. Designed for low voltage, high speed switching applications in power supplies, converters and PWM motor controls, these devices are particularly well suited for bridge circuits where diode speed and commutating safe operating areas are critical and offer additional safety margin against unexpected voltage transients.

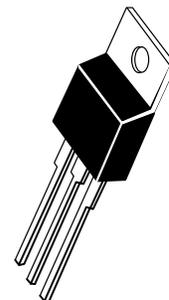
- Avalanche Energy Specified
- Source-to-Drain Diode Recovery Time Comparable to a Discrete Fast Recovery Diode
- Diode is Characterized for Use in Bridge Circuits
- I_{DSS} and $V_{DS(on)}$ Specified at Elevated Temperature



MTP2955E

Motorola Preferred Device

TMOS POWER FET
12 AMPERES
60 VOLTS
 $R_{DS(on)} = 0.3 \text{ OHM}$



CASE 221A-06, Style 5
TO-220AB

MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-Source Voltage	V_{DSS}	60	Vdc
Drain-Gate Voltage ($R_{GS} = 1.0 \text{ M}\Omega$)	V_{DGR}	60	Vdc
Gate-Source Voltage — Continuous	V_{GS}	± 15	Vdc
— Non-Repetitive ($t_p \leq 10 \text{ ms}$)	V_{GSM}	± 20	Vpk
Drain Current — Continuous	I_D	12	Adc
— Continuous @ 100°C	I_D	7.0	
— Single Pulse ($t_p \leq 10 \mu\text{s}$)	I_{DM}	36	Apk
Total Power Dissipation	P_D	75	Watts
Derate above 25°C		0.6	W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Single Pulse Drain-to-Source Avalanche Energy — Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$ ($V_{DD} = 25 \text{ Vdc}$, $V_{GS} = 10 \text{ Vdc}$, $I_L = 12 \text{ Apk}$, $L = 3.0 \text{ mH}$, $R_G = 25 \Omega$)	E_{AS}	216	mJ
Thermal Resistance — Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.67	$^\circ\text{C/W}$
— Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 10 seconds	T_L	260	$^\circ\text{C}$

Designer's Data for "Worst Case" Conditions — The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. SOA Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

E-FET and Designer's are trademarks of Motorola, Inc. TMOS is a registered trademark of Motorola, Inc.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

REV 2

MTP2955E

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Drain–Source Breakdown Voltage (V _{GS} = 0 Vdc, I _D = 250 μAdc) Temperature Coefficient (Positive)	V _{(BR)DSS}	60 —	— 85	— —	Vdc mV/°C
Zero Gate Voltage Drain Current (V _{DS} = 60 Vdc, V _{GS} = 0 Vdc) (V _{DS} = 60 Vdc, V _{GS} = 0 Vdc, T _J = 125°C)	I _{DSS}	— —	— —	10 100	μAdc
Gate–Body Leakage Current (V _{GS} = ±15 Vdc, V _{DS} = 0)	I _{GSS}	—	—	100	nAdc

ON CHARACTERISTICS (1)

Gate Threshold Voltage (V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250 μAdc) Temperature Coefficient (Negative)	V _{GS(th)}	2.0 —	— 3.0	4.0 —	Vdc mV/°C
Static Drain–Source On–Resistance (V _{GS} = 10 Vdc, I _D = 6.0 Adc)	R _{DS(on)}	—	0.26	0.30	Ohm
Drain–Source On–Voltage (V _{GS} = 10 Vdc) (I _D = 12 Adc) (I _D = 6.0 Adc, T _J = 125°C)	V _{DS(on)}	— —	— —	4.3 3.8	Vdc
Forward Transconductance (V _{DS} = 13 Vdc, I _D = 6.0 Adc)	g _{FS}	3.0	4.8	—	mhos

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Input Capacitance	(V _{DS} = 25 Vdc, V _{GS} = 0 Vdc, f = 1.0 MHz)	C _{iss}	—	565	700	pF
Output Capacitance		C _{oss}	—	225	315	
Reverse Transfer Capacitance		C _{rss}	—	45	100	

SWITCHING CHARACTERISTICS (2)

Turn–On Delay Time	(V _{DD} = 30 Vdc, I _D = 12 Adc, V _{GS} = 10 Vdc, R _G = 9.1 Ω)	t _{d(on)}	—	9.0	20	ns
Rise Time		t _r	—	39	80	
Turn–Off Delay Time		t _{d(off)}	—	17	35	
Fall Time		t _f	—	8.0	20	
Gate Charge (See Figure 8)	(V _{DS} = 48 Vdc, I _D = 12 Adc, V _{GS} = 10 Vdc)	Q _T	—	16	32	nC
		Q ₁	—	3.0	—	
		Q ₂	—	6.0	—	
		Q ₃	—	5.0	—	

SOURCE–DRAIN DIODE CHARACTERISTICS

Forward On–Voltage (1)	(I _S = 12 Adc, V _{GS} = 0 Vdc) (I _S = 12 Adc, V _{GS} = 0 Vdc, T _J = 125°C)	V _{SD}	— —	2.2 1.8	3.8 —	Vdc
Reverse Recovery Time (See Figure 14)	(I _S = 12 Adc, V _{GS} = 0 Vdc, dI _S /dt = 100 A/μs)	t _{rr}	—	100	—	ns
		t _a	—	75	—	
		t _b	—	25	—	
Reverse Recovery Stored Charge		Q _R	—	0.475	—	μC

INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE

Internal Drain Inductance (Measured from contact screw on tab to center of die) (Measured from the drain lead 0.25" from package to center of die)	L _D	— —	3.5 4.5	— —	nH
Internal Source Inductance (Measured from the source lead 0.25" from package to source bond pad)	L _S	—	7.5	—	nH

(1) Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%.

(2) Switching characteristics are independent of operating junction temperature.



MCP4802/4812/4822

8/10/12-Bit Dual Voltage Output Digital-to-Analog Converter with Internal V_{REF} and SPI Interface

Features

- MCP4802: Dual 8-Bit Voltage Output DAC
- MCP4812: Dual 10-Bit Voltage Output DAC
- MCP4822: Dual 12-Bit Voltage Output DAC
- Rail-to-Rail Output
- SPI Interface with 20 MHz Clock Support
- Simultaneous Latching of the Dual DACs with LDAC pin
- Fast Settling Time of 4.5 μ s
- Selectable Unity or 2x Gain Output
- 2.048V Internal Voltage Reference
- 50 ppm/ $^{\circ}$ C V_{REF} Temperature Coefficient
- 2.7V to 5.5V Single-Supply Operation
- Extended Temperature Range: -40° C to $+125^{\circ}$ C

Applications

- Set Point or Offset Trimming
- Sensor Calibration
- Precision Selectable Voltage Reference
- Portable Instrumentation (Battery-Powered)
- Calibration of Optical Communication Devices

Related Products⁽¹⁾

P/N	DAC Resolution	No. of Channels	Voltage Reference (V_{REF})
MCP4801	8	1	Internal (2.048V)
MCP4811	10	1	
MCP4821	12	1	
MCP4802	8	2	
MCP4812	10	2	
MCP4822	12	2	
MCP4901	8	1	External
MCP4911	10	1	
MCP4921	12	1	
MCP4902	8	2	
MCP4912	10	2	
MCP4922	12	2	

Note 1: The products listed here have similar AC/DC performances.

Description

The MCP4802/4812/4822 devices are dual 8-bit, 10-bit and 12-bit buffered voltage output Digital-to-Analog Converters (DACs), respectively. The devices operate from a single 2.7V to 5.5V supply with SPI compatible Serial Peripheral Interface.

The devices have a high precision internal voltage reference ($V_{REF} = 2.048V$). The user can configure the full-scale range of the device to be 2.048V or 4.096V by setting the Gain Selection Option bit (gain of 1 of 2).

Each DAC channel can be operated in Active or Shutdown mode individually by setting the Configuration register bits. In Shutdown mode, most of the internal circuits in the shutdown channel are turned off for power savings and the output amplifier is configured to present a known high resistance output load (500 k Ω , typical).

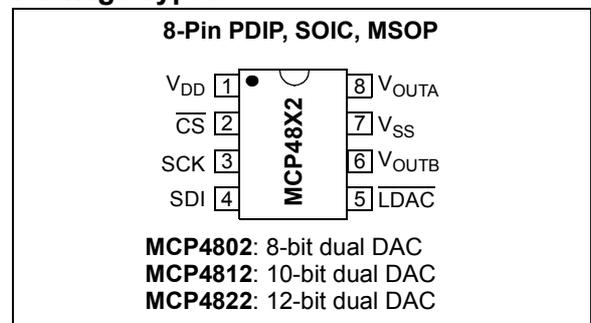
The devices include double-buffered registers, allowing synchronous updates of two DAC outputs using the \overline{LDAC} pin. These devices also incorporate a Power-on Reset (POR) circuit to ensure reliable power-up.

The devices utilize a resistive string architecture, with its inherent advantages of low DNL error, low ratio metric temperature coefficient and fast settling time. These devices are specified over the extended temperature range ($+125^{\circ}$ C).

The devices provide high accuracy and low noise performance for consumer and industrial applications where calibration or compensation of signals (such as temperature, pressure and humidity) are required.

The MCP4802/4812/4822 devices are available in the PDIP, SOIC and MSOP packages.

Package Types



4.0 GENERAL OVERVIEW

The MCP4802, MCP4812 and MCP4822 are dual voltage output 8-bit, 10-bit and 12-bit DAC devices, respectively. These devices include rail-to-rail output amplifiers, internal voltage reference, shutdown and reset-management circuitry. The devices use an SPI serial communication interface and operate with a single supply voltage from 2.7V to 5.5V.

The DAC input coding of these devices is straight binary. Equation 4-1 shows the DAC analog output voltage calculation.

EQUATION 4-1: ANALOG OUTPUT VOLTAGE (V_{OUT})

$$V_{OUT} = \frac{(2.048V \times D_n)}{2^n} \times G$$

Where:

- 2.048V = Internal voltage reference
- D_n = DAC input code
- G = Gain selection
 - = 2 for \overline{GA} bit = 0
 - = 1 for \overline{GA} bit = 1
- n = DAC Resolution
 - = 8 for MCP4802
 - = 10 for MCP4812
 - = 12 for MCP4822

The ideal output range of each device is:

- **MCP4802 (n = 8)**
 - (a) 0.0V to $255/256 * 2.048V$ when gain setting = 1x.
 - (b) 0.0V to $255/256 * 4.096V$ when gain setting = 2x.
- **MCP4812 (n = 10)**
 - (a) 0.0V to $1023/1024 * 2.048V$ when gain setting = 1x.
 - (b) 0.0V to $1023/1024 * 4.096V$ when gain setting = 2x.
- **MCP4822 (n = 12)**
 - (a) 0.0V to $4095/4096 * 2.048V$ when gain setting = 1x.
 - (b) 0.0V to $4095/4096 * 4.096V$ when gain setting = 2x.

Note: See the output swing voltage specification in Section 1.0 "Electrical Characteristics".

1 LSb is the ideal voltage difference between two successive codes. Table 4-1 illustrates the LSb calculation of each device.

TABLE 4-1: LSb OF EACH DEVICE

Device	Gain Selection	LSb Size
MCP4802 (n = 8)	1x	$2.048V/256 = 8 \text{ mV}$
	2x	$4.096V/256 = 16 \text{ mV}$
MCP4812 (n = 10)	1x	$2.048V/1024 = 2 \text{ mV}$
	2x	$4.096V/1024 = 4 \text{ mV}$
MCP4822 (n = 12)	1x	$2.048V/4096 = 0.5 \text{ mV}$
	2x	$4.096V/4096 = 1 \text{ mV}$

4.0.1 INL ACCURACY

Integral Non-Linearity (INL) error for these devices is the maximum deviation between an actual code transition point and its corresponding ideal transition point once offset and gain errors have been removed. The two end points method (from 0x000 to 0xFF) is used for the calculation. Figure 4-1 shows the details.

A positive INL error represents transition(s) later than ideal. A negative INL error represents transition(s) earlier than ideal.

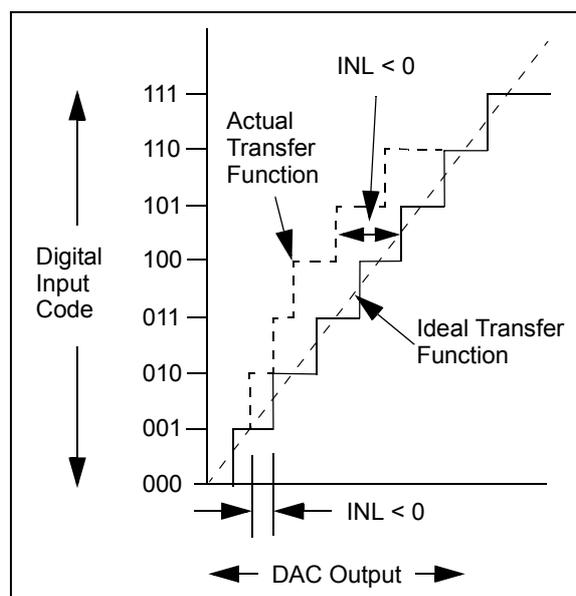


FIGURE 4-1: Example for INL Error.

BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ C$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure	: BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	2	10	dB
		: BC549/550	$f=1KHz, R_G=2K\Omega$	1.2	4	dB
		: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	1.4	4	dB
		: BC550	$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$	1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

BC327/328

Switching and Amplifier Applications

- Suitable for AF-Driver stages and low power output stages
- Complement to BC337/BC338



PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC327	-50	V
	: BC328	-30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC327	-45	V
	: BC328	-25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-800	mA
P_C	Collector Power Dissipation	625	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = -10\text{mA}, I_B = 0$	-45			V
			-25			V
BV_{CES}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = -0.1\text{mA}, V_{BE} = 0$	-50			V
			-30			V
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = -10\mu\text{A}, I_C = 0$	-5			V
I_{CES}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = -45\text{V}, V_{BE} = 0$ $V_{CE} = -25\text{V}, V_{BE} = 0$		-2	-100	nA
				-2	-100	nA
h_{FE1}	DC Current Gain	$V_{CE} = -1\text{V}, I_C = -100\text{mA}$ $V_{CE} = -1\text{V}, I_C = -300\text{mA}$	100		630	
h_{FE2}			40			
$V_{CE}(\text{sat})$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -500\text{mA}, I_B = -50\text{mA}$			-0.7	V
$V_{BE}(\text{on})$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = -1\text{V}, I_C = -300\text{mA}$			-1.2	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = -5\text{V}, I_C = -10\text{mA}, f = 20\text{MHz}$		100		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = -10\text{V}, I_E = 0, f = 1\text{MHz}$		12		pF

h_{FE} Classification

Classification	16	25	40
h_{FE1}	100 ~ 250	160 ~ 400	250 ~ 630
h_{FE2}	60-	100-	170-

Schottky Barrier Plastic Rectifier


DO-201AD

FEATURES

- Guardring for overvoltage protection
- Very small conduction losses
- Extremely fast switching
- Low forward voltage drop
- High forward surge capability
- High frequency operation
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912


RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in low voltage high frequency inverters, freewheeling, DC/DC converters, and polarity protection applications.

MECHANICAL DATA

Case: DO-201AD

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: Color band denotes the cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	3.0 A
V_{RRM}	20 V, 30 V, 40 V
I_{FSM}	80 A
V_F	0.475 V, 0.500 V, 0.525 V
T_J max.	125 °C
Package	DO-201AD
Diode variations	Single

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25\text{ °C}$ unless otherwise noted)					
PARAMETER	SYMBOL	1N5820	1N5821	1N5822	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	20	30	40	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	14	21	28	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	20	30	40	V
Non-repetitive peak reverse voltage	V_{RSM}	24	36	48	V
Maximum average forward rectified current at 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_L = 95\text{ °C}$	$I_{F(AV)}$	3.0			A
Peak forward surge current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	80			A
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 65 to + 125			°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ °C}$ unless otherwise noted)						
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	1N5820	1N5821	1N5822	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	3.0	$V_F^{(1)}$	0.475	0.500	0.525	V
Maximum instantaneous forward voltage	9.4	$V_F^{(1)}$	0.850	0.900	0.950	V
Maximum average reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ °C}$	$I_R^{(1)}$	2.0			mA
	$T_A = 100\text{ °C}$		20			

Note

⁽¹⁾ Pulse test: 300 μ s pulse width, 1 % duty cycle



THERMAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)					
PARAMETER	SYMBOL	1N5820	1N5821	1N5822	UNIT
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}$ ⁽¹⁾		40		$^\circ\text{C/W}$
	$R_{\theta JL}$ ⁽¹⁾		10		

Note

⁽¹⁾ Thermal resistance from junction to lead vertical PCB mounted, 0.500" (12.7 mm) lead length with 2.5" x 2.5" (63.5 mm x 63.5 mm) copper pad

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N5820-E3/54	1.08	54	1400	13" diameter paper tape and reel
1N5820-E3/73	1.08	73	1000	Ammo pack packaging

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES

($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

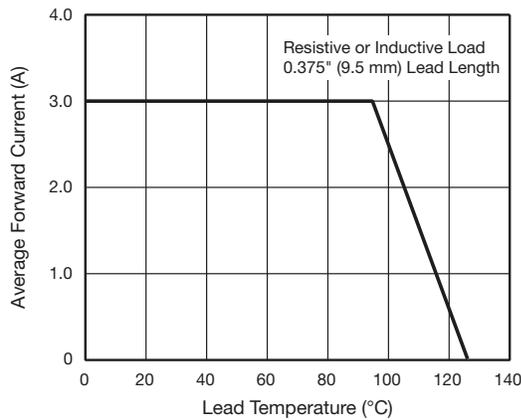


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

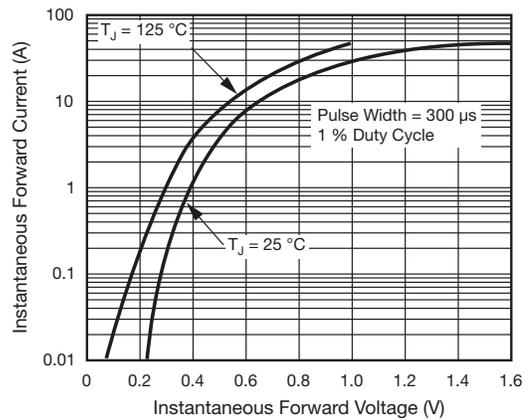


Fig. 3 - Typical Instantaneous Forward Characteristics

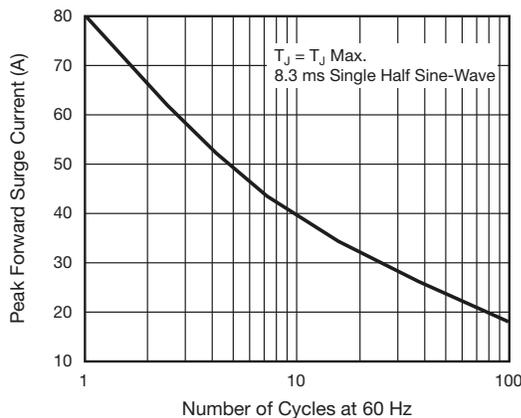


Fig. 2 - Maximum Non-Repetitive Peak Forward Surge Current

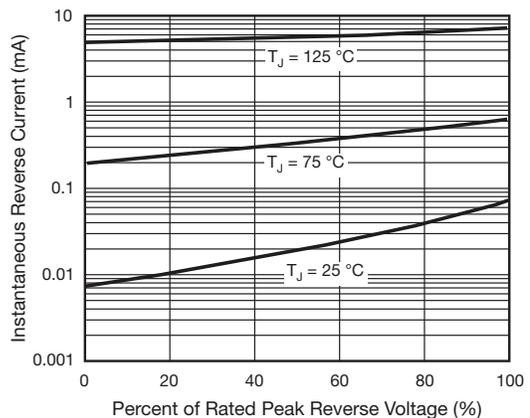


Fig. 4 - Typical Reverse Characteristics

General Purpose Plastic Rectifier


DO-201AD

FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC


RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters and freewheeling diodes application.

Note

- These devices are not AEC-Q101 qualified.

MECHANICAL DATA

Case: DO-201AD, molded epoxy body

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating

Base P/N-E3 - RoHS compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	3.0 A
V_{RRM}	50 V to 1000 V
I_{FSM}	200 A
I_R	5.0 μ A
V_F	1.2 V
T_J max.	150 °C

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)											
PARAMETER	SYMBOL	1N5400	1N5401	1N5402	1N5403	1N5404	1N5405	1N5406	1N5407	1N5408	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	210	280	350	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.5" (12.5 mm) lead length at $T_L = 105$ °C	$I_{F(AV)}$	3.0									A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	200									A
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.5" (12.5 mm) lead length at $T_L = 105$ °C	$I_{R(AV)}$	500									μ A
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 50 to + 150									°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)													
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	1N5400	1N5401	1N5402	1N5403	1N5404	1N5405	1N5406	1N5407	1N5408	UNIT	
Maximum instantaneous forward voltage	3.0 A	V_F							1.2				V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	I_R							5.0				μA
	$T_A = 150\text{ }^\circ\text{C}$								500				
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz	C_J							30				pF

THERMAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)												
PARAMETER	SYMBOL	1N5400	1N5401	1N5402	1N5403	1N5404	1N5405	1N5406	1N5407	1N5408	UNIT	
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}^{(1)}$							20				$^\circ\text{C/W}$

Note

⁽¹⁾ Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, P.C.B. mounted with 0.8" x 0.8" (20 mm x 20 mm) copper heatsinks

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N5404-E3/54	1.1	54	1400	13" diameter paper tape and reel
1N5404-E3/73	1.1	73	1000	Ammo pack packaging

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES

($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

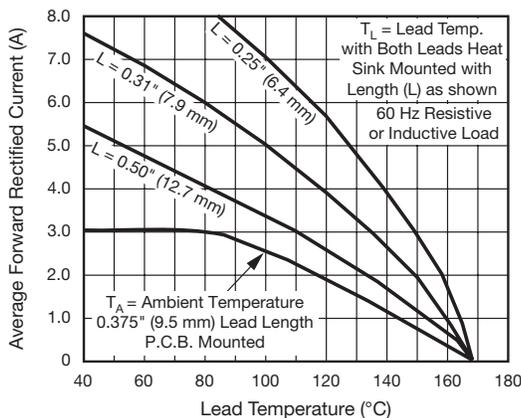


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

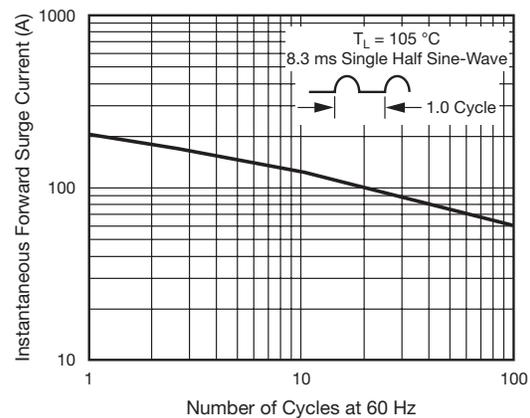


Fig. 2 - Maximum Non-Repetitive Peak Forward Surge Current



Small Signal Fast Switching Diodes



FEATURES

- Silicon epitaxial planar diode
- Electrically equivalent diodes:
1N4148 - 1N914
- Material categorization:
For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE

APPLICATIONS

- Extreme fast switches

MECHANICAL DATA

Case: DO-35

Weight: approx. 105 mg

Cathode band color: black

Packaging codes/options:

TR/10K per 13" reel (52 mm tape), 50K/box

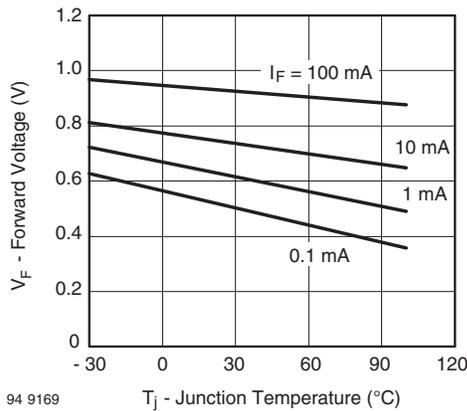
TAP/10K per ammpack (52 mm tape), 50K/box

PARTS TABLE				
PART	ORDERING CODE	TYPE MARKING	INTERNAL CONSTRUCTION	REMARKS
1N4148	1N4148-TAP or 1N4148TR	V4148	Single diode	Tape and reel/ammpack

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	100	V
Reverse voltage		V_R	75	V
Peak forward surge current	$t_p = 1\text{ }\mu\text{s}$	I_{FSM}	2	A
Repetitive peak forward current		I_{FRM}	500	mA
Forward continuous current		I_F	300	mA
Average forward current	$V_R = 0$	$I_{F(AV)}$	150	mA
Power dissipation	$l = 4\text{ mm}, T_L = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	440	mW
	$l = 4\text{ mm}, T_L \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	500	mW

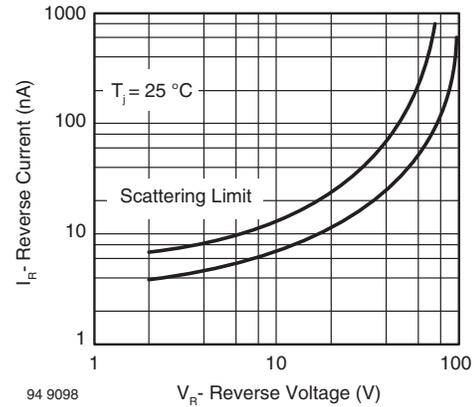
THERMAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Thermal resistance junction to ambient air	$l = 4\text{ mm}, T_L = \text{constant}$	R_{thJA}	350	K/W
Junction temperature		T_j	175	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	- 65 to + 150	$^{\circ}\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F			1	V
Reverse current	$V_R = 20\text{ V}$	I_R			25	nA
	$V_R = 20\text{ V}, T_J = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	I_R			50	μA
Reverse current	$V_R = 75\text{ V}$	I_R			5	μA
	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}, t_p/T = 0.01,$ $t_p = 0.3\text{ ms}$	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz},$ $V_{HF} = 50\text{ mV}$	C_D			4	pF
Rectification efficiency	$V_{HF} = 2\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	η_r	45			%
Reverse recovery time	$I_F = I_R = 10\text{ mA},$ $i_R = 1\text{ mA}$	t_{rr}			8	ns
	$I_F = 10\text{ mA}, V_R = 6\text{ V},$ $i_R = 0.1 \times I_R, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{rr}			4	ns

TYPICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)


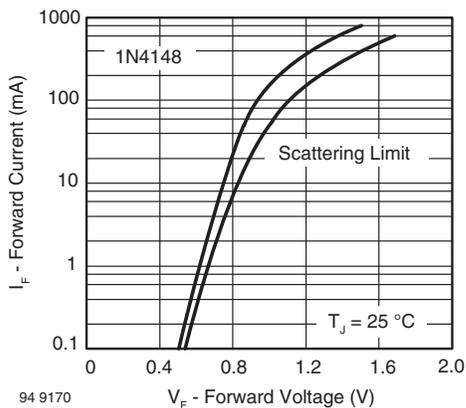
94 9169

Fig. 1 - Forward Voltage vs. Junction Temperature



94 9098

Fig. 3 - Reverse Current vs. Reverse Voltage



94 9170

Fig. 2 - Forward Current vs. Forward Voltage

General Purpose Plastic Rectifier



FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters and freewheeling diodes application.

Note

- These devices are not AEC-Q101 qualified.

MECHANICAL DATA

Case: DO-204AL, molded epoxy body
Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E3 - RoHS compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
V_{RRM}	50 V to 1000 V
I_{FSM} (8.3 ms sine-wave)	30 A
I_{FSM} (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
V_F	1.1 V
I_R	5.0 μ A
T_J max.	150 °C

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_A = 75$ °C	$I_{F(AV)}$	1.0							A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	30							A
Non-repetitive peak forward surge current square waveform $T_A = 25$ °C (fig. 3)	$t_p = 1$ ms	45							A
	$t_p = 2$ ms	35							
	$t_p = 5$ ms	30							
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length $T_L = 75$ °C	$I_{R(AV)}$	30							μ A
Rating for fusing ($t < 8.3$ ms)	$I^2t^{(1)}$	3.7							A ² s
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 50 to + 150							°C

Note

⁽¹⁾ For device using on bridge rectifier application

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A	V_F	1.1							V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	I_R	5.0							μA
	$T_A = 125\text{ }^\circ\text{C}$		50							
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz	C_J	15							pF

THERMAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}^{(1)}$	50							$^\circ\text{C/W}$	
	$R_{\theta JL}^{(1)}$	25								

Note

(1) Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, PCB mounted

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N4004-E3/54	0.33	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N4004-E3/73	0.33	73	3000	Ammo pack packaging

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES

($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

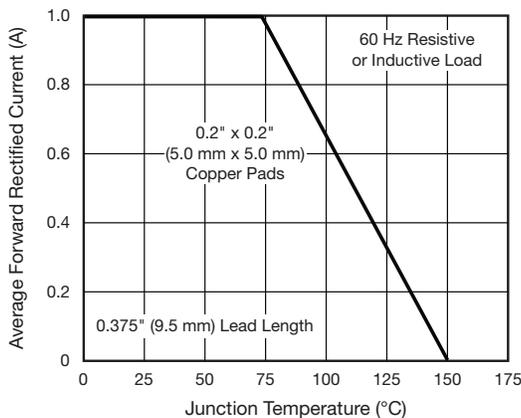


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

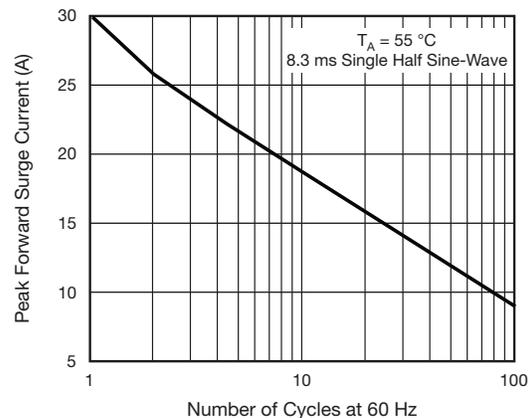


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current