

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

TESIS

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CARGA PARA BATERÍAS LI-ION A DISPOSITIVO PORTÁTIL DE MONITOREO Y COMUNICACIÓN SATELITAL PARA EMBARCACIONES DE FLOTA MENOR EN EL SURESTE DE MÉXICO”

PARA OPTAR AL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. JOSÉ BENITO GÓNGORA KU

ASESOR:

DR. JOSÉ RAMÓN ATOCHE ENSEÑAT

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO.

18 DE ABRIL DE 2013

Autorización de impresión

DEDICATORIAS

A Dios

Por permitirme alcanzar uno de mis objetivos y haberme brindado salud y serenidad para concluir esta meta.

A mi esposa e hijos.

Portada su paciencia, apoyo y comprensión durante todo este tiempo que me ha llevado concluir este objetivo.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Dr. José Ramón Atoche Enseñat, por todo su apoyo académico y compartir sus conocimientos para enriquecer mi aprendizaje, pero sobre todo por ser una bella persona comprensible y amigable.

Al Dr. Luis Alberto Muños Ubando por brindarme la oportunidad de participar en un proyecto que ha permitido ampliar mis conocimientos y concluir este trabajo.

A todos mis compañeros y amigos del laboratorio de Hardware, por brindar una amistad sincera durante todo este tiempo.

RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación, es una respuesta a la necesidad de diseñar e implementar un sistema de carga para baterías de Iones de Litio (Li-Ion) para el proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México”. Este sistema tiene como objetivo, comunicarse en tiempo real a una base, adquirir información de la ubicación geográfica de las embarcaciones, trayectorias de las mismas, enviar señales de emergencia y obtener información de los factores ambientales marítimos.

En la actualidad existe un gran número de dispositivos para el monitoreo satelital de las embarcaciones, sin embargo no existe hoy en día un dispositivo que cumpla con los requerimientos para embarcaciones de pesca artesanal. Razón por la cual en la presente tesis se plantea el diseño e implementación del sistema de carga para baterías Li-Ion necesario para suministrar energía a los componentes electrónicos que integran el sistema.

ABSTRACT

The present study is a response to the need in design and implementation of a charging system in Li-Ion batteries, the project “Development of Technological Infrastructure of Acquisition System and Communication of Geospatial Information for the Fishing Sector in Mexico”. The objective of this system is to communicate to a base in real, time to acquire information of the geographical location of fishing ships, their trajectories, sending emergency signals and to obtain information about sea environmental factors.

Nowadays there are a great number of assets for satellite monitoring of fishing ships, however there is not a device yet that fulfills all the requirements for more rudimentary fishing boats. That is why the present thesis proposes the design and implementation of a charging system for Li-Ion batteries necessary to energy to the electrical components.

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido	I
Índice de tablas	III
Índice de figuras.....	IV
1. Presentación.....	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Generales.	3
1.3.2. Específicos.....	3
1.4. Justificación.	3
1.5. Estado del Arte.	4
2. Marco Teórico.....	9
2.1. Tecnologías recargables.	9
2.1.1. Sistemas de carga.....	13
2.1.2. Característica de tecnología de baterías recargables para alimentación de dispositivos electrónicos portátiles.....	13
2.1.3. Comparación de tecnologías de baterías recargables.....	20
2.2. Carga de células Li-Ion	23
2.2.1. Carga de una celda.....	23
2.2.2. Carga de celdas en paralelo y serie.....	24
2.2.3. Carga de celdas en funcionamiento.....	26
2.3. Drivers.....	27
3. Desarrollo	29

3.1.	Diseño del sistema de alimentación para el KAXAN.	29
3.1.1.	Requisitos del sistema de alimentación	29
3.1.2.	Estimación de la demanda y consumo.	29
3.1.3.	Selección de la batería.	31
3.1.4.	Protecciones del sistema.	33
3.2.	Circuito de carga	35
3.3.	diseño del PCB	39
3.4.	Diagrama de Flujo del sistema de carga.....	40
3.5.	Firmware del sistema KAXAN.	46
3.6.	Mejoras propuestas para el KAXAN.	47
4.	Resultados y conclusiones	49
4.1.	Resultados	49
4.2.	Conclusiones.....	55
	ANEXO.....	56
5.	Bibliografía.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Comparación de tecnologías en baterías recargables (20) (5).	11
Tabla 2.2. Aplicación de las baterías recargables (20).	12
Tabla 2.3. Voltaje de cargas de baterías (27).....	14
Tabla 2.4. Comparativo de Tecnologías evaluadas en Baterías.....	21
Tabla 3.1. Calculo de la demanda y consumo en (A).	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Características batería Ni-MH y Ni-Cd, (b) Características batería Ploma ácido y Li-Ion (1).....	5
Figura 1.2 Carga típica de baterías Li-Ion CC-CV b) esquema y c) secuencia de carga (5).....	6
Figura 1.3 Efectos de la resistencia interna en terminales de la batería (10)	8
Figura 2.1 Aplicación de las tecnologías recargables en 2008 en porcentaje (21).....	12
Figura 2.2 Algoritmo de carga (26)	14
Figura 2.3 Principio de recombinación de gases (28).....	15
Figura 2.4 Ciclos de vida útil (28).....	15
Figura 2.5 Mínima auto descarga (28).....	16
Figura 2.6 Construcción de batería Li-Ion (31)	18
Figura 2.7 Diagrama de flujo para la carga de una celda.	23
Figura 2.8 Diagrama de flujo para la carga de más de una celda.....	25
Figura 2.9 Conexión de batería en serie y paralelo, con conector de balanceo de carga.	26
Figura 3.1 Batería 5400 mA/h, 11.1 volts	33
Figura 3.2 Protecciones del sistema	35
Figura 3.3 Esquema del Circuito de carga	37
Figura 3.4 PCB del circuito de carga	39
Figura 3.5 Resistencia de carga de montaje superficial.....	40
Figura 3.6 Ubicación de resistencia de carga	40
Figura 3.7 Diagrama de Flujo del sistema de Carga parte 1 de 3	41
Figura 3.8 Diagrama de Flujo del sistema de Carga parte 2 de 3	42
Figura 3.9 Diagrama de Flujo del sistema de Carga parte 3 de 3	43
Figura 4.1 Ciclo de trabajo del 8% señal en la terminal del microcontrolador.	50
Figura 4.2 Ciclo de trabajo del 8% señal en terminales de la batería.	51
Figura 4.3 Ciclo de trabajo del 28% señal en la terminal del microcontrolador.	51
Figura 4.4 Ciclo de trabajo del 28% señal en terminales de la batería.	52
Figura 4.5 Ciclo de trabajo del 31% señal en terminales del microcontrolador.	52
Figura 4.6 Ciclo de trabajo del 31% señal en terminales de la batería.....	53

Figura 4.7 Gráfica de carga	54
Figura 4.8. Tarjeta electrónica Final	54
Figura 4.9 Equipo en Funcionamiento.....	54

1. PRESENTACIÓN.

1.1. Introducción.

El presente tema a desarrollar trata sobre las tecnologías de cargas a baterías Iones de Litio (Li-Ion) así como la selección de adecuada de baterías, para la aplicación del proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México” (CAXAN), el cual es un dispositivo electrónico móvil que tiene la función de procesar información (recepción y envío) de posicionamiento y estado de la embarcación, por medio de los sistemas GPS (Global Position System) y GSM (Global System for Mobile Communications). Otra de sus funciones es la de obtener lecturas de salinidad y temperatura del agua de mar, por medio de un termosalinómetro conectado a través del puerto NMEA (National Marine Electronic Association)..

En primera instancia se describe el planteamiento del problema el cual trata sobre los motivos que se presentan para el desarrollo de esta tesis, como siguiente paso se trata sobre los objetivos a cumplir en este proyecto, posteriormente se encuentra la justificación en donde se describe la forma de solucionar la problemática y los puntos a cumplir en el planteamiento del problema, al final de este capítulo se desarrolla el estado del arte el cual trata sobre la técnica que actual mente se aplica a la carga de baterías.

El capítulo dos desarrolla el tema sobre las tecnologías de baterías recargables en donde se describen sus características y la forma de carga de cada una de las tecnologías, de igual forma se describe los drivers utilizados para la recarga de las distintas tecnologías su aplicación y función.

El Capítulo tres explica la realización de carga para las baterías Iones de Litio (Li-Ion), para una célula, células en serie y células en funcionamiento, el diseño del sistema KAXAN iniciando con la estimación de la carga, la selección de la capacidad de la batería, elección de la tecnología de la batería, la decisión de la técnica de carga a implementar, las protecciones del

sistema empleado contra sobre tensiones generados por la alimentación externa, también se trata el desarrollo del circuito de carga.

Capítulo cuatro se presenta los resultados obtenidos del trabajo de tesis a si como su aplicación al sistema KAXAN.

1.2. Planteamiento del problema.

El incremento del uso de dispositivos electrónicos portátiles conlleva a la búsqueda fuentes de energía que pueda satisfacer los requerimientos de la demanda eléctrica de los equipos portátiles, por lo que se han utilizado distintas tecnologías, entre las que se pueden mencionar baterías de zinc carbón, las alcalinas y tecnologías recargables como acido plomo (Pb), Níquel Cadmio (Ni-Cd), Níquel e Hidruro Metálico (Ni-Mh), Polímeros de Litio (Li-Po) y Iones de Litio (Li-Ion), cada una de las tecnologías antes mencionadas tienen ciertas ventajas unas sobre otras, por lo que las ventajas sobre salen por el tipo de aplicación.

Para el caso particular del proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México” (KAXAN), el cual es un sistema que será implementado a embarcaciones de flota menor, este tipo de embarcaciones es utilizado para la pesca artesanal, permaneciendo un tiempo máximo de tres días en alta mar. Al ser implementado en las embarcaciones antes mencionadas; el sistema estará sometido a la alta salinidad así como a la alta probabilidad de ser mojado. Es por estos motivos que el diseño del equipo tiene que ser portátil y hermético. Al ser diseñado de forma hermética el sistema alimentación dependa de una batería, con capacidad de ser recargada durante la operación del sistema, mantener energizado el sistema durante un tiempo mínimo de 72 horas, no ser un riesgo de corrosión para la tarjeta electrónica por los posibles gases expulsados por la batería, no presentar riesgo de explosión al usuario al momento de realizar la recarga, tener un tiempo de vida aproximado a 24 meses en optimas condiciones de uso, ser un dispositivo libre de mantenimiento.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Generales.

Seleccionar tecnología a utilizar para resolver los requerimientos de energía del equipo electrónico desarrollado para el proyecto: “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México” (KAXAN), financiado por CONACYT (FORDECYT 143329) y diseñar sistema de carga para la tecnología elegida.

1.3.2. Específicos.

- Seleccionar de una manera adecuada una tecnología de batería que cumpla con los requerimientos antes mencionados del sistema KAXAN.
- Diseñar el sistema de carga para baterías Li-Ion de más de una célula (6 células) para aplicaciones en dispositivos electrónicos móviles, con entrada de alimentación en un rango de 12V a 18V CD y 127 CA. Optimizando los tiempos de recarga, minimizar los daños a las células durante la carga, proporcionar protección a todo el sistema electrónico contra transitorios de sobre voltaje existentes en los sistemas de alimentación o voltajes inversos.

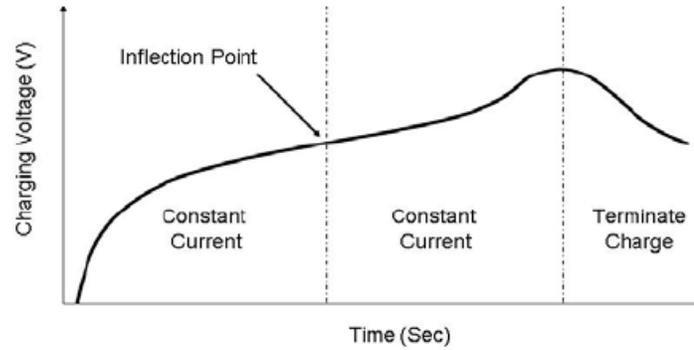
1.4. Justificación.

Actualmente existe la necesidad de la implementación de un sistema electrónico para el proyecto “Desarrollo de infraestructura tecnológica de sistemas de adquisición y comunicación de información geoespacial para el sector pesquero de México”, el cual será un dispositivo móvil alimentado a través de baterías con la capacidad de mantener al sistema operando durante un tiempo no menor a 72 horas, la tecnología del cargador, ser capaz de alimentarse de dos fuentes con características diferentes, por un lado debe poder ser alimentado por voltaje alterno 127V CA y también por el voltaje generado por el alternador de un motor de combustión interna, considerando todos los problemas de picos de voltaje y que este tipo de alimentación implica. Ante un análisis preliminar de la solución requerida se llegó a la conclusión de que lo que se necesita para cubrir las expectativas del proyecto es una solución integrada que incluye en una sola tarjeta toda la electrónica de soporte, adicional a esto se

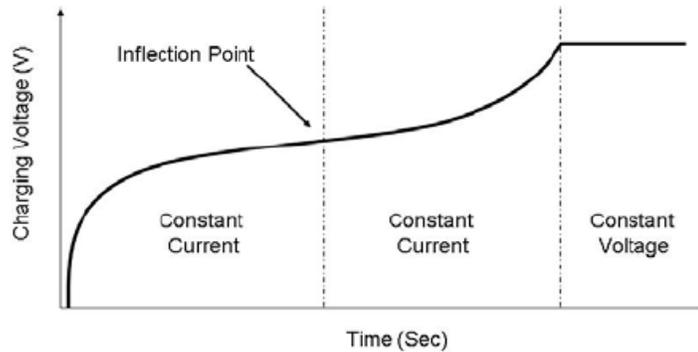
requiere que el sistema pueda cargarse sin dejar de operar, por estos motivos se optó por el diseño de un sistema propio de carga que pudiera cubrir con las expectativas.

1.5. Estado del Arte.

El conocer los tipos de técnicas existentes para la carga de baterías de distintas tecnologías es muy importante para poder desarrollar un proyecto de sistema de carga para baterías Iones de Litio, por lo que es necesario conocer el comportamiento del voltaje en terminales de las baterías durante el tiempo de carga y su finalización. En la figura 1.1, se pueden observar las características antes mencionadas para la carga de las baterías NI-CD/NI-MH y SLA/Li-Ion, en general las curvas de carga son similares, estas gráficas se encuentran divididas en tres estados. En el primer estado el voltaje de la batería sube rápidamente cuando ocurre el primer ciclo de carga. En el siguiente estado el incremento de voltaje es más pequeño y el voltaje de carga eleva a una velocidad mucho más lenta, en la etapa final la batería se encuentra casi totalmente cargada. El voltaje de la batería se incrementa de nuevo rápidamente. Todos los tipos de baterías muestran el comportamiento antes descrito, para el caso de las baterías de Ni-Cd/Ni-Mh se observa en la Figura 1.1a, en donde la tensión de carga empieza a disminuir después de la tercera etapa. En la Figura 1.1b, se observa el comportamiento para las baterías SLA/Li-Ion, se puede notar que el voltaje se mantiene constante al final de la carga. (1)



(a)



(b)

Figura 1.1 (a) Características batería Ni-MH y Ni-Cd, (b) Características batería Plomo acido y Li-Ion (1).

La carga de baterías Li-Ion se realiza con mucha precaución, el grado de complejidad incrementa cuando se carga en grupos interconectados en serie, los problemas son mayores. Si una célula se encuentra dañada implica un problema de seguridad, al recargar una célula en mal estado el calor producido por la célula podría ser muy grande implicando un riesgo inclusive de explosión o causar daños al cargador. Sin embargo la detección de células malas no se incluye en los cargadores convencionales. (2).

El desbalance de las baterías se dan en la carga y descarga por lo que al cargarlos de se debe de tener cuidado para tener el mismo nivel de carga en cada celda de lo contrario el tiempo de vida de las células se reducen considerablemente, o pueden producir explosiones por sobre carga (3).

Existen dos métodos para el balance de las células de Li-Ion, el primero de los métodos el pasivo consiste en conectar una resistencia de descarga a las células que se requieran balancear o se encuentren ya cargadas, una de las principales desventajas de este método es la disipación de la energía excedente de las células en forma de calor, el método activo consiste en utilizar elementos activos para transportar energía a las células que lo requieran (4).

Los cargadores de baterías Li-Ion por lo general extraen energía en CC sin regular que a través de la combinación de elementos de lineales y reguladores llevan a cabo la carga de las celdas.

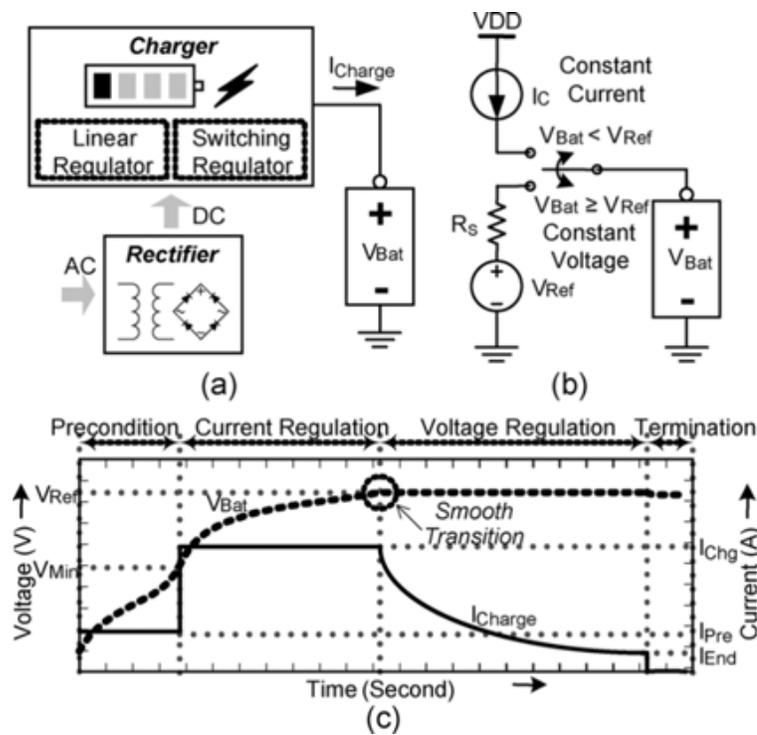


Figura 1.2 Carga típica de baterías Li-Ion CC-CV b) esquema y c) secuencia de carga (5).

Para realizar una carga de forma rápida segura y eficiente de las baterías Li-Ion se inicia con la regulación de corriente suministrada, para finalizar la carga se realiza por medio de voltaje. Lo anterior constituya lo conocida como corriente constante y voltaje constante (CC-CV) Ver Figura 1.2 más atrás (b). En la Figura 1.2(c) se presenta el procedimiento de carga el cual inicia con un acondicionamiento previo si la batería se encuentra totalmete descargada lo que origina un V_{min} . Lo que necesita de una corriente de precarga I_{pre} . (5)

De igual forma existen otras estrategias para cargar las baterías Li-Ion. Entre las que se pueden mencionar: goteo constante (CTC), corriente constante (CC) y la antes descrita estrategia de carga de corriente constante y tensión constante (CC-CV). (6) (7).

El uso de la estrategia de pulsos de voltaje/corriente (goteo constante CTC) en lugar de la carga con voltaje y corriente constante, proporciona un descanso para la distribución y neutralización de los Iones dentro de la celda.

La técnica de la carga por pulsos puede aumentar realmente el ciclo de vida de la batería y reducir el tiempo de carga y por lo tanto es ampliamente utilizado en sistemas de carga. Sin embargo, no existe un método para determinar el período de descanso óptimo (es decir, el ciclo de trabajo) en la actualidad. De hecho, el ciclo de trabajo en un sistema comercial de carga de baterías por pulsos está siempre determinado por un método de prueba y error o el empirismo. (6) (8)

La técnica de carga de voltaje constante (CV) es el método básico de carga, sin embargo, existe una enorme corriente de carga inicial, la cual puede acortar el tiempo de vida de la batería, el tiempo de carga es mayor debido a que al final de la carga la corriente es menor. El método de corriente constante (CC) es dañino ya que un voltaje muy alto se inducirá en las terminales de la batería cuando se encuentre en los límites de carga. Sin embargo se pueden conjuntar los dos métodos CC/CV, pero esto tiene la desventaja de requerir una gran cantidad de hardware así como el consumo de energía, por lo que es preferible trabajar con el método CC con la corriente de carga a 1C. (9).

Con respecto al efecto de la resistencia interna de la pila en el tiempo de carga, podemos referirnos la curva de carga de la batería Li-Ion ver Figura 1.3. Cuando el voltaje de las baterías se encuentran en los niveles especificados (4.1 Volts o 4.2 Volts), si consideramos el voltaje interno de la batería por célula (V_{bato}) se encuentra por de bajo del voltaje de batería (V_{bat}) 4.2 Volts. Esto es por la resistencia interna de la pila el cual representa un voltaje de caída (IR drop), por lo que la batería inicialmente no carga al 100%. En la siguiente imagen se representa el efecto de IR drop, en donde se puede notar que el efecto de la resistencia interna prolonga el tiempo de carga. (10)

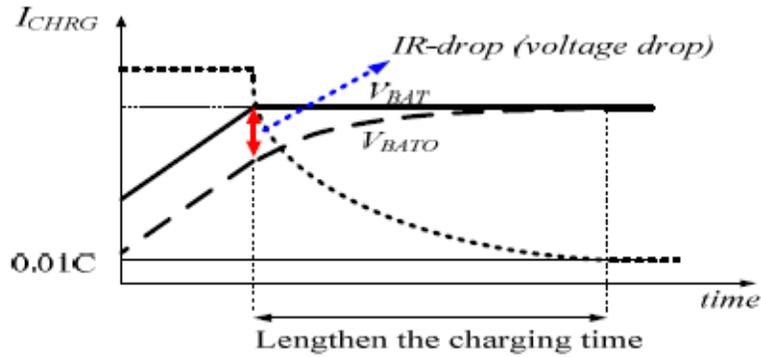


Figura 1.3 Efectos de las resistencia interna en terminales de la batería (10)

Otro aspecto a tomar en cuenta es la temperatura de la celda, en (11) se presenta un método de carga por control difuso que consiste en el tomar en cuenta los niveles de temperatura así como el incremento de la temperatura en la batería para determinar el nivel correcto de corriente de carga.

La temperatura típica de carga de las baterías Li-Ion se encuentra entre el rango de 0 a 45°C. Cargar las baterías fuera de este rango puede causar una falla en su estructura física o incluso explosión de la misma. (2).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tecnologías recargables.

El uso de dispositivos electrónicos móviles ha conllevado al uso de energía portátil y con el uso extensivo se ha promovido el uso de baterías recargables. Con la aparición de las baterías de ácido plomo, la cual es una de las más antiguas desde su descubrimiento por Gaston Plante en 1859, sus características de densidad energética, carga y descarga se han mejorado pero sus elementos celulares básicos siguen siendo los mismos, se encuentran disponibles en gran variedad y tamaño de 1 a más de 1000 Ah (Amper Hora). Existen tres tipos, los inundados, los de materiales absorbentes de fibra de vidrio y los de gel (12). Las baterías de plomo ácido son más utilizadas en la industria automotriz, así como en otros dispositivos electrónicos en donde el riesgo de derrama de líquidos ácidos no sea de prioridad o presente un problema. Desde el nacimiento de la primera batería las industrias han buscado formas para mejorar la eficiencia y la capacidad de almacenamiento de carga, así como distintos métodos de carga ya que en gran parte, el tiempo de vida de una batería depende de la forma de recarga y del mantenimiento (13).

La fabricación de las baterías es una industria en crecimiento. Las razones para esto son muy claras. Hay un enorme aumento en las ventas de dispositivos electrónicos portátiles (teléfonos móviles, ordenadores portátiles y ordenadores portátiles, videocámaras, etc.) que requieren de energía eléctrica portátil, y también dispositivos conectados a la red eléctrica que utilizan baterías de respaldo para proporcionar potencia eléctrica en caso de fallo en la red (14).

Con el incremento de dispositivos portátiles se han buscado otras tecnologías alternas a la de plomo Acido (Pb), que permitan almacenar mayor cantidad de energía en menor volumen, peso y con tiempos menores para la recarga (15). Las de Pilas de níquel cadmio se presentan como primera opción, las cuales se utiliza ampliamente hoy en día. Son relativamente baratas y fáciles de usar. Una célula típica de Ni-Cd se puede cargar completamente hasta 500 veces. Sin embargo tienen un alto índice de auto-descarga. Las baterías de Ni-Cd sufren daños al recibir voltajes inversos, en un conjunto de baterías conectadas en serie, la primera célula en descargarse por completo tendrá un voltaje inverso al resto del conjunto, ocasionando daños en

la misma. Para evitar las descargas perjudiciales de una batería, el voltaje es constantemente monitoreado y la aplicación se apaga cuando el voltaje de la célula cae por debajo de 1.0 Volt. La técnica de carga en Ni-Cd es a corriente constante (16). Sin embargo estas baterías las están desplazando por Níquel e Hidruro Metálico (Ni-Mh), siendo el tipo de batería más ampliamente utilizado en las nuevas aplicaciones ligeras portátiles. Tienen una densidad de energía mayor que Ni-Cd. Al igual a las baterías Ni-Cd, las baterías de Ni-MH sufren daños por sobrecarga, por tanto, es importante hacer mediciones precisas de suspender la carga en el momento justo (es decir, cargar completamente la batería sin sobrecarga). Al igual que baterías de Ni-Cd, las baterías de Ni-MH son dañadas por voltajes inversos (16).

En la actualidad las baterías de Iones de Litio (Li-Ion) están más disponibles en los mercados por lo que está permitiendo a los usuarios de dispositivos electrónicos portátiles sustituir a las baterías de Ni-Mh o tener flexibilidad de usar cualesquiera de las antes mencionadas.

Las baterías Li-Ion poseen gran ventaja sobre las que se mencionan en los párrafos anteriores, alta densidad de energía (Wh/Kg), menor volumen (Wh/l) (17) y una larga vida útil (18). Sin embargo, la carga de este tipo de baterías es más complicada ya que se tienen que considerar varios factores, especialmente cuando las células de Li-Ion se encuentran conectadas en serie, además que no pueden someterse a sobrecargas por sus limitaciones químicas, por lo tanto en cada célula se monitorea su carga y descarga con el fin de asegurar prolongar su vida útil (19).

Ventajas:

- Alta densidad de energía, más de dos veces que el NiCd. Con una mejoría anual.
- Bajo mantenimiento, no tiene fuga de gases, tiene una autodescarga mucho menor a las tecnologías Ni-Cd, Ni-Mh, no tiene efecto de memoria.
- Costos y mejoras en la calidad, impulsado por la industria de la computación portátil.
- Rápida recarga.
- Más seguro y menos perjudicial para el medio ambiente.

Desventajas:

- Requiere circuitos de protección para garantizar la seguridad de voltajes y corrientes.
- Baja corriente de descarga.
- Existen restricciones de transporte para grandes volúmenes de células.

Tabla 2.1 Comparación de tecnologías en baterías recargables (20) (5).

	Plomo- Acido	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-Ion
Densidad Energética (Wh/kg)	30-50	30-60	60-120	110-190
Voltaje por Célula	2V	1.25V	1.25V	3.6V
Auto descarga/ Mes	5%	20%	30%	< 10%
Tolerancia a la sobre carga	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo

En la Tabla 2.1 se puede observar que la densidad de energía de iones de litio es aproximadamente el doble que la de un estándar de níquel-metal hidruro y de cerca de cuatro veces mayor que la de la tecnología de baterías de plomo ácido. (20) (5).

A pesar de lo antes mencionado sobre las ventajas de las baterías de Li-Ion. La SBI Energy White Paper, estima que para el 2013 las baterías de plomo ácido seguirán siendo las de mayor venta en el mercado como se indica la Figura 2.1, sin embargo las baterías de iones de litio (Li-Ion) serán las de mayor crecimiento en la electrónica portátil, mientras que otras tecnologías como la química níquel zinc, capacitor/batería híbrida y las células de combustible realizaran avances significativos (21).

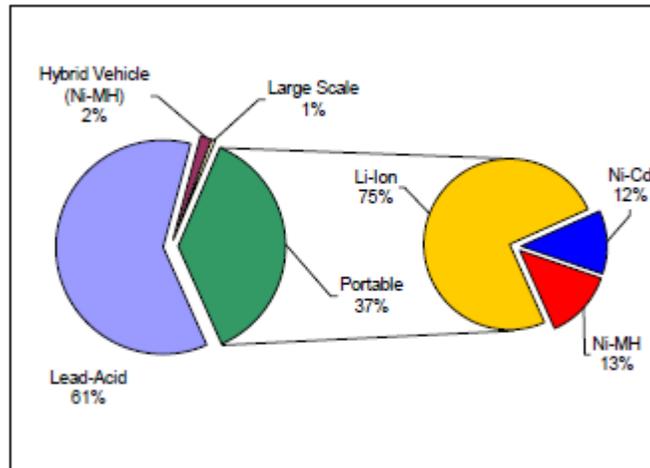


Figura 2.1 Aplicación de las tecnologías recargables en 2008 en porcentaje (21).

Tabla 2.2 Aplicación de las baterías recargables (20).

Tipo	Características	Aplicaciones
SLA	Sellado, libre de mantenimiento, bajo costo, moderado ciclo de vida.	Herramientas portables, pequeños equipos electrodomésticos, TV y equipo electrónico.
Ni-Cd	Sellado, libre de mantenimiento, Buena tasa de rendimiento a bajas temperaturas, excelente ciclo de vida.	Equipo de ferrocarril, equipos electrónicos, herramientas portátiles, localizadores, aplicaciones a equipo fotográfico, mantener memorias de respaldo en espera (bajo consumo).
Ni-MH	Sellado, libre de mantenimiento, alta capacidad de energía respecto a la Ni-Cd.	Equipos electrónicos, otras aplicaciones portables y vehículos híbridos eléctricos.
Li-Ion	Alta densidad energética largo ciclo de vida.	Equipos portables y equipamiento electrónico vehículos eléctricos y aplicaciones espaciales.

2.1.1. Sistemas de carga.

Para los sistemas de carga, se han desarrollado cargadores para baterías de las distintas tecnologías (Plomo Acido, Ni-Cd, Ni-Mh, Li-Ion, Li-Po). Las técnicas utilizadas en la recarga varían según la tecnología de la batería, como se describe en (22). De la misma forma se mencionan en (23), las distintas técnicas utilizadas en la carga de las baterías Li-Ion, al igual el tipo de control empleado, en (20) menciona el tiempo que conlleva el diseño de circuitos de control para la carga de baterías Li-Ion para tener la seguridad y el control del voltaje, al igual menciona los motivos por los cuales las baterías Li-Ion no se integran de una manera muy acelerada a los proyectos en donde se requieran en gran escala.

2.1.2. Característica de tecnología de baterías recargables para alimentación de dispositivos electrónicos portátiles.

2.1.2.1. Baterías de plomo ácido.

La tecnología utilizada para las baterías de plomo ácido es una de las más antiguas, su construcción físico-química, consiste en placas de aleación de plomo-antimonio, plomo-selenio, sumergidas en material electrolítico, las cuales se utilizan de tres tipos: placas planas empastadas, placas tubulares, placas planas (24).

El tiempo de retención de la carga

El tiempo de retención de la carga depende de la temperatura a la cual estará sometido el electrolito, para temperatura de 50 °C la batería tendrá una auto-descarga del 25% por semana (un mes para la descarga total), para las temperaturas cercanas a 25 °C se tendrá una reducción de la auto-descarga de 6% por semana (cuatro meses para una descarga total) (25).

Formas de recarga.

El comportamiento de la batería al ser recargado se describe en la Figura 2.2

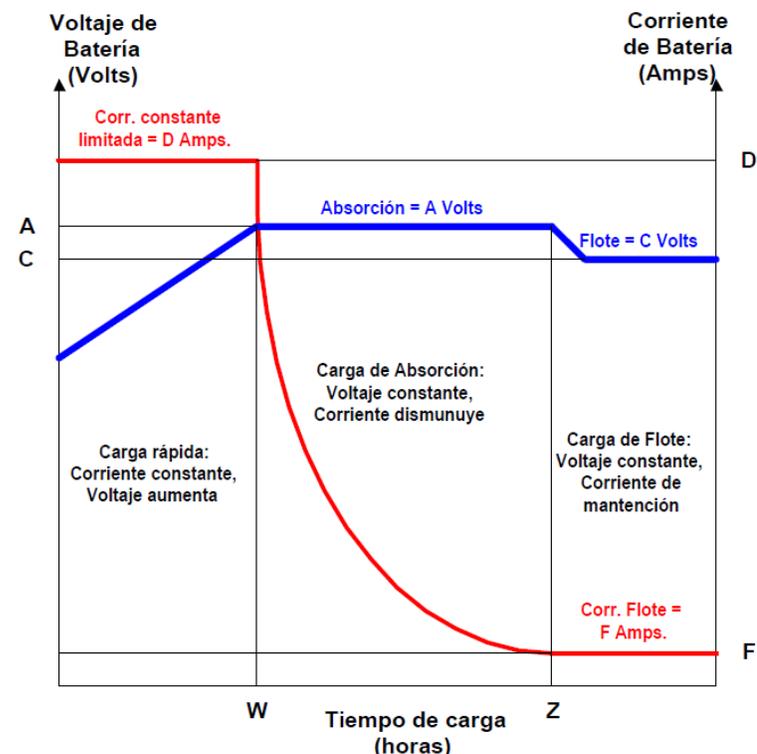


Figura 2.2 Algoritmo de carga (26)

La carga se realiza a un voltaje mayor a los de terminales de batería ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Voltaje de cargas de baterías (27)

	Voltajes del sistema.			
Voltaje en terminales (batería)	12	24	36	48
Rango de voltaje(cargador)	13.8 – 14.4	27.6-28.2	41.4-42.3	55.2-56.4
Voltaje flotante	13.5	26.4	39.6	52.8

2.1.2.2. Baterías de gel.

Las baterías de gel tienen una construcción físico-química de aleaciones de Plomo-Calcio el cual permite un menor envenenamiento en las placas negativas, incrementando de esta manera el tiempo de vida útil de las placas.

Estas baterías trabajan bajo el principio de recombinación de gases, para lograr este principio se encuentran selladas de forma hermética de acido- gel, el cual impide que los gases generados durante la recarga se re-combinen ver Figura 2.3.

Con el principio de recombinación de gases y las placas antes descritas, se permite mayor vida útil, descargas más profundas ver Figura 2.4, y una auto-descarga menor ver Figura 2.5.

Para cargar estas baterías se utiliza el mismo esquema de carga que con las de Plomo acido.

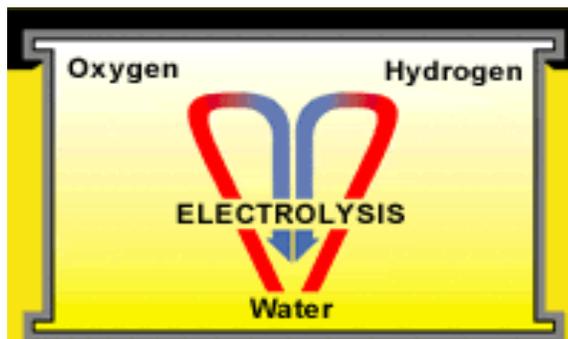


Figura 2.3 Principio de recombinación de gases (28).

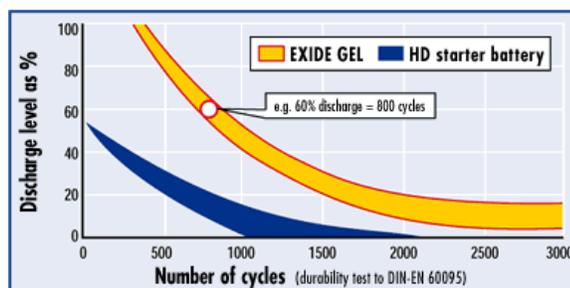


Figura 2.4 Ciclos de vida útil (28).

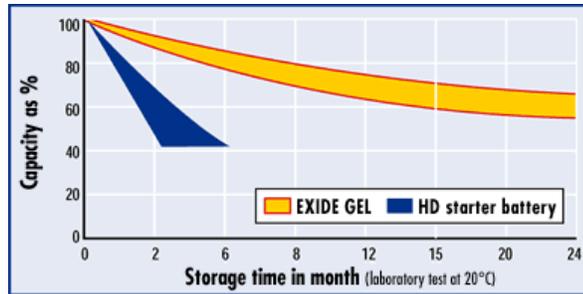


Figura 2.5 Mínima auto descarga (28).

2.1.2.3. Baterías de níquel cadmio (NI-CD).

Las baterías de Ni-Cd fueron por mucho tiempo las más utilizadas en los circuitos electrónicos, ya que poseen una baja impedancia lo cual los hace atractiva para aplicaciones donde se requiera altas corrientes. Debido a que poseen una baja capacidad de almacenamiento de energía y ocasionan problemas ambientales se encuentran en etapa de discontinuidad, por esta razón no consideramos conveniente tomarlas en cuenta al hacer una selección.

2.1.2.4. Baterías de níquel metal hidruro (NI-MH).

Las baterías Ni-MH, son similares a las de Ni-Cd, la diferencia es su cátodo el cual es de Metal Hidruro. Este tipo de baterías presentan una mayor capacidad de almacenamiento el cual es compensada con una mayor auto descarga (30% mensual frente a 20%). (29)

Cada célula de Ni-MH puede proporcionar un voltaje de 1,2 voltios y una capacidad entre 0,8 y 2,9 amperio-hora. Su densidad de energía llega a los 80 Wh/kg. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo de recarga, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía (29).

Los ciclos de carga de estas baterías oscilan entre las 200 y 300 cargas, algunos de sus inconvenientes son las "altas" temperaturas que alcanzan en las recargas o en las descargas.

Se requieren mayor tiempo de recarga que para las Ni-Cd.

Forma de carga.

Las baterías de Ni-MH deben de cargarse a corriente nominal con voltajes entre 1.4V a 1.6V, se recomienda realizar las cargas con cargadores especiales para cortar el flujo de corriente al llegar a la carga total, para evitar dañar las células por sobrecargas (30).

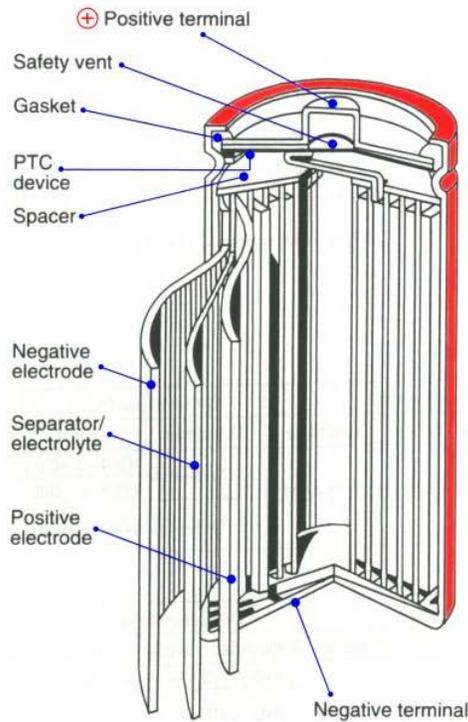
Tiempo de retención de carga.

El tiempo de retención de carga en las baterías Ni-MH son demasiado cortos, los cuales presentan una auto descarga del 5 a 10% en el primer día. Para estabilizarse en 0.5 a 1% por día a temperaturas de 25°C (30).

2.1.2.5. Baterías de Litio-Ion (LI-ION).

La composición de esta batería al igual que las anteriores involucra dos electrodos sumergidos en un electrolito. El electrodo positivo es una lámina de Al (20µm) con óxidos metálicos mixtos de litio (LiMO₂ donde M puede ser Co, Ni, Mn o mezclas de éstos). El electrodo negativo es una lámina de Cu (20µm) con carbón poroso con Li incorporado en su matriz. Tienen apilamientos desordenados, incluyendo estructuras tipo hexagonal. Los electrolitos con que se construyen estas baterías son muy variados, desde soluciones no acuosas que contienen sales de Li (LiPF₆, LiClO₄), solventes (propil carbonato, etil carbonato, dimetil carbonato, etil-metil carbonato y dietil carbonato), geles, materiales poliméricos y cerámicos (31).

Cylindrical Type



Prismatic Type

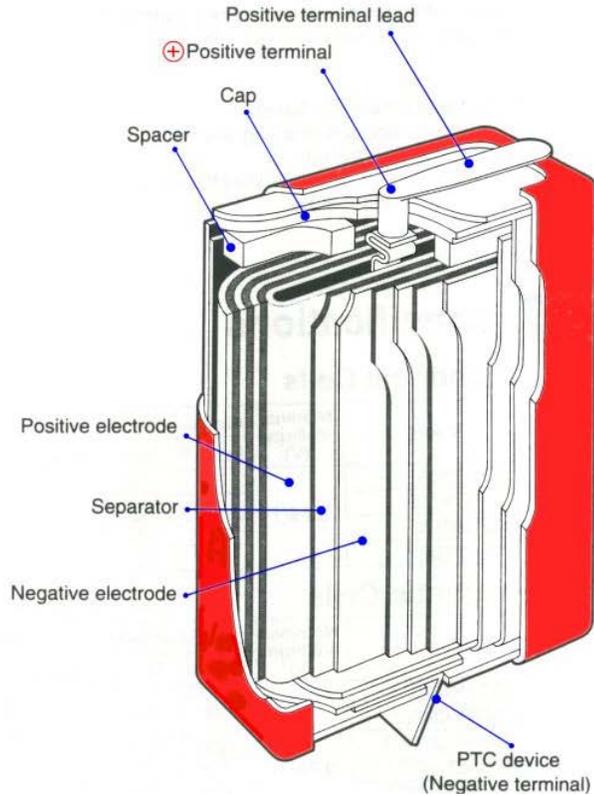


Figura 2.6 Construcción de batería Li-Ion (31)

Por su tipo de reactivos sus dimensiones son 40 a 50% menores a las de NiCd y 20 a 30% a las de NiMH. Poseen un alto voltaje por célula (3.6 a 3.7V). Ciclo de vida típica entre 300 y 500 ciclos.

Tiempo de retención de carga.

Las baterías de Li-Ion poseen una excelente retención de carga, a carga plena pierde alrededor del 5% en el primer mes y un 3% en los meses posteriores con temperatura cercanas a los 25°C (30)

Tiempo de carga.

Al inicio de la carga se logra un 80% de la capacidad total transcurrido el 50% del periodo de carga cuando la tasa de carga es de 0.5C. Después de este tiempo la corriente de carga

disminuirá a un nivel bajo. Es necesario detener la recarga después de 2.5 hrs con una carga de 1C y 4 hrs para una carga de 0.5C, para prevenir daños permanentes a las celdas.

2.1.2.6. Baterías de polímero-litio (LI-PO).

Las baterías de polímero de litio se diferencian de las otras por el tipo de electrolito utilizado (película plástica que no conduce la electricidad pero permite el intercambio de iones cargados). El ánodo es una ultra delgada lámina de litio metálico que hace la función de fuente de iones de litio (descarga) o como colector (carga). El cátodo es un material compuesto con capas intercaladas de óxido de vanadio, negro de carbono, sal de litio y polímeros todos ellos laminado sobre una hoja de aluminio que sirve de colector (32)

Las células de Li-Po poseen 3.7v. Con altas corrientes. Presentando auto descarga del 2% mensual.

Carga.

Las baterías polímeros de litio (Li-Po) se carga con un máximo de intensidad 1C. Este tipo de baterías no poseen memoria por lo que no se necesitan descarga para recargarlas. Su eficiencia es del 98% para baterías nuevas.

Precauciones.

Se debe de tener cuidado en el armado de los paquetes ya que no está permitido un desbalance superior a 0.10 v, al inicio de la carga ya que puede existir un recalentamiento entre el primer elemento cargado lo que puede ser de riesgo para el usuario. Para evitar lo anterior cada paquete está provisto de conectores equilibrados.

La nomenclatura.

3S. Tres elementos en serie.

2p. Dos elementos en paralelo.

3S2P. Dos grupos conectados en paralelo, cada grupo consta de tres células conectadas en serie.

C. Tiene el valor 1/h, ósea.

Si la batería es 1050 mA. A 1C es igual a $1050 \text{ mAh} \times 1/\text{h} = 1050 \text{ mAh}$.

$7C = 7 \times 1050 \times 1/\text{h} = 7350 \text{ mAh}$ (33).

2.1.3. Comparación de tecnologías de baterías recargables.

Para realizar una correcta selección de batería con la tecnología adecuada se recomienda evaluar sus características, las cuales deberán estar relacionadas con las necesidades del sistema a alimentar.

2.1.3.1. Baterías de Iones de Litio (Li-Ion).

Esta tecnología se puede utilizar casi en cualquier sistema electrónico. Cuando el sistema requiera de altos voltajes, altas descargas de corriente con auto-descarga mínima, alta confiabilidad en las baterías en donde no se permita fuga de gases y/o derrama de líquidos en el interior del sistema y la recarga de las baterías no sean un riesgo para el usuario, cuando el incremento del peso y las dimensiones son factores muy importantes y los costos por satisfacer lo antes mencionado no sea un factor de mucha importancia, se podrán utilizar la tecnología de las baterías de Iones de Litio (Li-Ion).

2.1.3.2. Baterías de Polímeros de Litio (Li-Po).

Con esta tecnología se puede satisfacer la mayor parte de las necesidades mencionadas en el párrafo anterior referente a las baterías Li-Ion, con una reducción en los costos por células, pero no se puede tener una alta confiabilidad en las celdas ya que algún desperfecto en el sistema de recarga, estas pueden ocasionar una explosión al interior del sistema electrónico.

2.1.3.3. Baterías de Níquel Metal Hidruro (Ni-Mh).

En los sistemas electrónicos en donde los requiere de bajos voltajes, con baja demanda y consumo de corriente, con un buen grado de confiabilidad en los elementos que no permitan la derrama de líquidos o fuga de gases al interior del sistema y no presenten un riesgo para el usuario al momento de recargarlas. Considerando los incrementos del peso y las dimensiones no son muy significativos como los costos.

2.1.3.4. Baterías de Gel.

Para sistemas electrónicos en donde se requiere de alto voltaje, alta demanda y consumo de corriente. Se encuentren largos periodos de tiempo sin recibir una recarga o se encuentren en espera de una contingencia para ser utilizadas (sistemas de emergencia), con una alta confiabilidad en donde la fuga de gases y la derrama de sustancias acidas no se permite. Considerando que para satisfacer lo antes mencionado el incremento del peso, las dimensiones y los costos no soy relevantes.

2.1.3.5. Baterías de Plomo-Acido.

Las baterías de esta tecnología pueden satisfacer gran parte de los requerimientos de las baterías de Gel, pero con las desventajas que se presentan en la tabla comparativos de tecnologías evaluadas.

Tabla 2.4 Comparativo de Tecnologías evaluadas en Baterías.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Plomo Acido	Proporcionan altas corrientes. Voltaje a 12V	Gran peso. Auto descarga en un mes meses a temperatura de 50°C. Descargas mayores al 20% pueden causar grandes daños a la batería. Permite la fuga de gases tóxicos a la atmosfera. Derrama de acido sulfúrico. No resistente a las vibraciones. Requieren mantenimiento
Gel	Proporcionan altas corrientes. Voltaje a 12V. Mayores tiempos de auto descarga. Permite descargas mayores al 80% de su capacidad (no se recomienda). No permite fuga de gases. Permite inclinaciones de 90°	Altos costos. Mayor peso a los de acido. Una batería de estas en una embarcación incita al robo o comercio del mismo.

	Resistente a las vibraciones. Libres de mantenimiento. Mayores ciclos de carga/descarga.	
Ni-Cd	Descontinuadas	Descontinuadas
NI-MH	Bajo costo.	Voltajes de 1.2 V. Corrientes pequeñas respecto a las Li-Ion y LiPo. No soporta picos de descarga. Ciclos de Recarga entre 300 y 400 veces. Poseen efecto de memoria. Materiales tóxicos.
Li-Ion	Voltajes de 3.2 o 3.7 por célula. Altas corrientes por célula. Soportan picos de descarga. Peso menor. Mayor ciclos de Carga /recarga. No poseen efecto memoria. No son explosivas con respecto a la tecnología Li-Po.	Alto costo. Requiere de cargadores especiales.
LiPo	Voltajes de 3.2 o 3.7 por célula. Altas corrientes por célula. Soportan picos de descarga. Peso menor. Mayor ciclos de Carga /recarga. No poseen efecto memoria.	Costo menor a la tecnología Li-Ion. Peso menor a la tecnología Li-Ion. Requiere de cargadores especiales. Una mala recarga se daña la célula, con riesgos de explosión.

2.2. Carga de células Li-Ion

2.2.1. Carga de una celda.

Para la realización de carga de una célula, es un proceso sencillo, el cual consiste en la detección de los niveles de temperatura y los niveles de voltaje. El método utilizado para la carga puede variar según sea la aplicación.

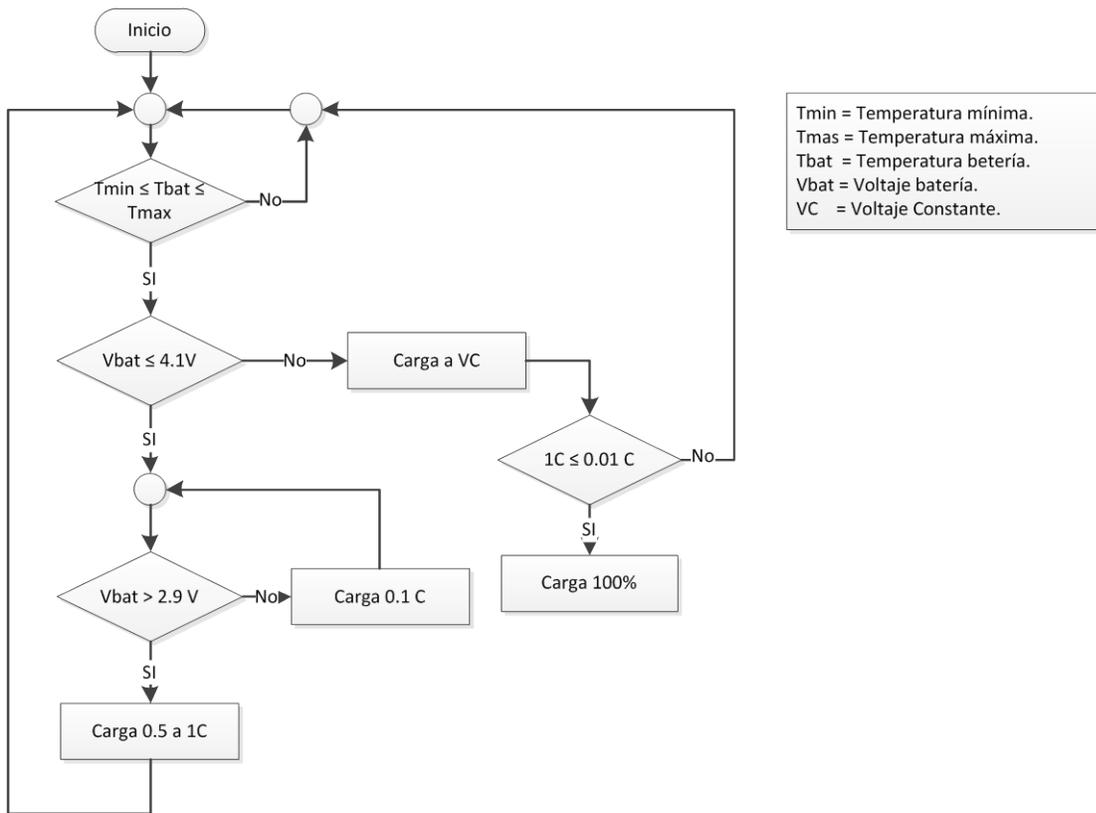


Figura 2.7 Diagrama de flujo para la carga de una celda.

En la Figura 2.7 se puede observar el método para realizar la carga de un célula, en primera instancia es necesario reconocer los niveles de temperatura de la célula el cual se debería de encontrar entre los límites, el nivel de temperatura de operación es proporcionado por el fabricante, el segundo paso es detectar los niveles de voltaje, si el nivel de voltaje se encuentra por arriba de 4.1 volts o igual a esté se considera total mente cargada.

2.2.2. Carga de celdas en paralelo y serie

Para la realización de carga de más de una células, el proceso se complica, el cual consiste en la detección de los niveles de voltaje de cada una de las células o módulos (estos pueden ser elementos interconectados en paralelo), interconectadas en serie, la detección a de los voltajes a tiempo de cada célula o modulo, se requiere par evitar sobre carga de los elementos (sobre carga permitida en la célula es de 0.1 volt), al igual monitorear el nivel de temperatura de la célula.

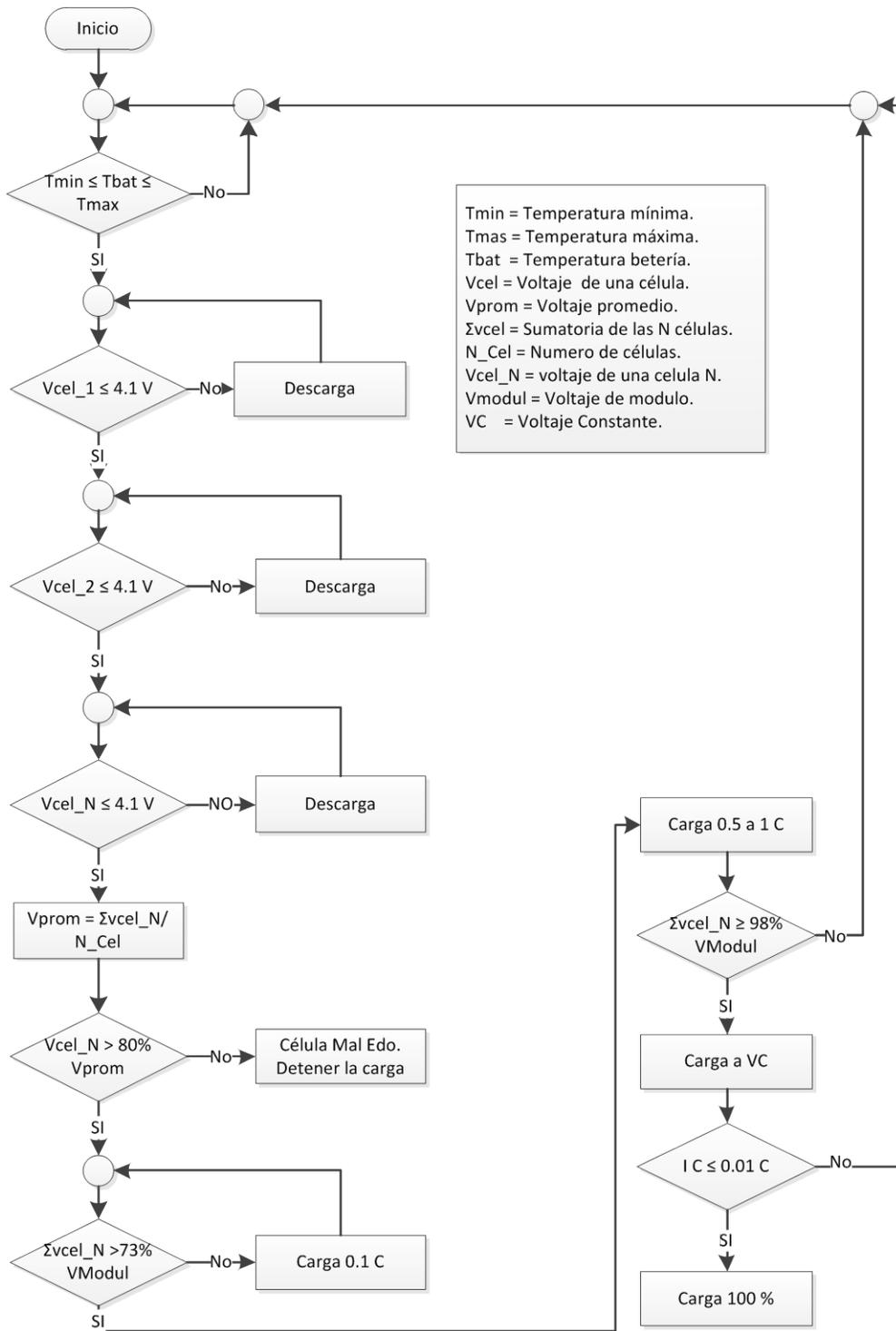


Figura 2.8 Diagrama de flujo para la carga de más de una celda.

En la Figura 2.8 se observa el método para realizar la carga de elementos en serie el cual, al principio se detecta los niveles de temperatura, el cual es proporcionado por el fabricante, como segundo paso se inicia el testeo de los niveles de voltaje de cada una de las células, en donde el nivel máximo de voltaje es fija a 4.1 volt por célula, cuando la el nivel de voltaje de cada célula excede el máximo, se activa la fase de descarga, esta fase puede ser cargas pasivas o cargas activas. Otro punto a detectar es el estado de carga de cada elemento respecto a resto del sistema, en este caso si la diferencia de voltaje de una célula es menor al 80%, en comparación con las otras células el elemento se encuentra dañado, cuando esta condición se cumpla la carga se detiene, de lo contrario la celda en mal estado puede iniciar a sobre calentarse, lo que es perjudicial para el resto del sistema o causar explosión. Continuando con el proceso de carga, se realiza una sumatoria de todos los elementos para tener el voltaje total del modulo, el cual se considera para determinar el cantidad de corriente de carga, cuando el voltaje es menor a 73% al voltaje nominal se realiza la carga a 0.1 C, de lo contrario la carga se realiza a 0.5 C a 1C. Cuando la sumatoria del voltaje de los elementos es igual al nominal se considera el sistema total menta cargado el cual se corta el flujo de corriente hacia el sistema de batería.

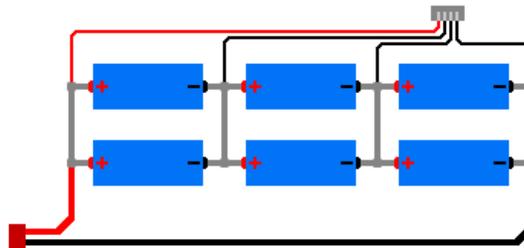


Figura 2.9 Conexión de batería en serie y paralelo, con conector de balanceo de carga.

En la Figura 2.9 se puede observar la conexión que se realizada en sistemas de baterías conectadas en serie y paralelo con la terminal utilizada para el balanceo de carga.

2.2.3. Carga de celdas en funcionamiento.

La carga de baterías Li-Ion instalados en los equipos a utilizar no es mayor problema, cuando se trata de un solo célula, pues el voltaje de carga a monitorear es de 4.2 volt como máximo y no existe la posibilidad de desbalance del elemento. Pero se complica cuando se tiene

mayor número de células conectadas en configuración serie y paralelo, en donde el voltaje de carga tendrá que ser mayor o igual al voltaje de las células en serie, existe el riesgo de desbalance de las células por lo que implica monitorear cada uno de los elementos, por lo tanto los detalles a considerar en los dispositivos electrónicos en operación, en primer lugar se encuentra la seguridad del usuario y posteriormente la seguridad del equipo.

Al cargar una celda en funcionamiento es importante tomar en cuenta las protecciones necesarias para evitar sobre-voltajes provenientes del sistema de carga que puedan dañar al equipo alimentado o a la batería.

2.3. Drivers.

Recientemente han aparecido en el mercado dispositivos que pueden realizar la gestión de la carga en las baterías Li-Ion, cada uno estos dispositivos se puede destacar sus ventajas dependiendo de la aplicación.

Ningún método es ideal para todas las aplicaciones. La comprensión de las características de carga de la batería y los requisitos de la aplicación, es esencial con el fin de diseñar un sistema de carga adecuado y fiable, cada método tiene sus ventajas e inconvenientes, es la aplicación la que determina cual será el mejor.

Entre los drivers se puede mencionar los de la familia MCP73841/2/3/4, MCP73861/2/3/4. Estos dispositivos tienen la capacidad para manejar una o dos células interconectadas en serie, sus voltajes de carga se encuentra entre 4.1 volt y 4.2 volt, para la configuración a una célula, y entre 8.2 volt y 8.4 volt, para configuraciones a dos células, con voltajes de entrada de 8.7 volt a 12 volt. Entre sus aplicaciones se encuentran: PDA (Personal Data Assistants), Teléfonos celulares, herramientas manuales, cámaras digitales, reproductoras MP3.

El circuito integrado BQ2014, es un circuito destinado a la gestión de carga en bloques de baterías recargables Ni-Cd y Ni-MH, este dispositivo tiene la capacidad para regular la carga en función de la temperatura, al igual indicar el estado de la batería, a través de indicadores visuales externos.

Circuito integrado LTC6802-1, dispositivo que cuenta con la monitorización completa del sistema de carga para baterías Li-Ion, el cual tiene la capacidad de monitorear hasta 12 células (60 volt máximo). Por lo general se encuentra en aplicaciones como: vehículos eléctricos, en equipos donde se requiera altos voltajes y densidad de carga, sistemas en donde se requiera respaldos de energía por medio de baterías, al igual en sistemas de adquisición de datos los cuales requieran de altos voltajes.

3. DESARROLLO

3.1. Diseño del sistema de alimentación para el KAXAN.

3.1.1. Requisitos del sistema de alimentación

EL sistema electrónico desarrollado para el proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector pesquero de México” (KAXAN), consiste en el diseño de una tarjeta electrónica basada en microprocesadores, que debe poder comunicarse con módems GSM y satelital, así como diversos periféricos requeridos por la aplicación. Debido a las características mencionadas, es de gran importancia que el sistema de alimentación sea capaz de cubrir los requisitos que se mencionan a continuación de manera eficiente y confiable.

- Entre los requisitos a cumplir se encuentra la cantidad de energía que el sistema de alimentación es capaz de entregar. El KAXAN requiere de un voltaje mínimo de 9 volts y máximo de 36 volts y con picos de corriente de 1000 mA.
- Capacidad de soportar el consumo del sistema durante un tiempo mínimo de tres días.
- Ser alimentado por dos fuentes externas (110 Vac mediante un eliminador, y directamente del sistema de energía de motores de combustión).
 - La entrada de alimentación se encuentra entre el rango de 12 volts a 19 volts.
 - Soportar o filtrar transitorios de sobre voltaje suministrados por las fuentes de alimentación.
- Permitir ser recargado durante un tiempo no mayor a ocho horas, de manera segura y confiable para el usuario y el mismo sistema electrónico KAXAN, (no presente riesgo, de fuga de líquidos corrosivos o riesgos de explosión).

3.1.2. Estimación de la demanda y consumo.

La estimación de la demanda se realiza en base a los consumos de cada uno de los elementos electrónicos con los que cuenta la tarjeta electrónica.

Tabla 3.1 Calculo de la demanda y consumo en (A).

Estimación del consumo de corriente:	Tiempo en segundos cada vez que enciende	No de veces que enciende por Hora	Tiempo en horas que se encuentra prendido cada hora	Horas al día	mA	mAH / día
<u>En caso de encendido satelital</u>						
Modem Satelital	60	1	0.02	12	1000	200.00
Modem GSM	300	4	0.33	12	50	200.00
Resto de la electrónica (envío sat)	300	1	0.08	12	72	72.00
Resto de la electrónica (lectura GPS)	300	3	0.25	12	72	216.00
Termosalinómetro	1	360	0.10	12	300	360.00
				demanda	1494	1,048.00
<u>En SLEEP en cobertura satelital</u>						
			T en h en Sleep c/hora			
Modem Satelital dormido			0.98	12	1	11.80
Modem GSM dormido			1.00	12	2	24.00
Resto de la electrónica dormido			0.67	12	2	16.00
Termosalinómetro			0.90	12	2	21.60
				Demanda	7	73.40
<u>En caso de encendido GSM</u>						
Modem GSM	120	4	0.13	12	50	80.00
Resto de la electrónica	120	4	0.13	12	50	80.00
Termosalinómetro	10	30	0.08	12	300	300.00
				Demanda	400	460.00
<u>En SLEEP en cobertura GSM</u>						
			T en h en Sleep c/hora			
Modem Satelital dormido			1.00	12	1	12.00
Modem GSM dormido			0.87	12	2	20.80
Resto de la electrónica dormido			0.87	12	2	20.80
Termosalinómetro			0.92	12	2	22.00
				Demanda	7	75.60
					Total Ah Consumo diario:	1.66

de cada una de las partes del sistema electrónico, posteriormente se obtiene el consumo.

E
n la
Tab
la
3.1
se
pue
de
obs
erv
ar
los
cál
culos
real
izad
os
par
a
obt
ene
r la
de
ma
nda

Como primer paso se considera en operación todos los componentes del sistema, considerando el tiempo en segundos encendido por número de veces que enciende durante un periodo de una hora, por el número de veces que se mantiene en operación en un periodo de 24 Hrs. Por la cantidad de corriente demandada mili-Ampere (mA), el cual proporciona el consumo de cada parte del sistema, realizando la sumatoria se obtiene el consumo en estado encendido. Para el segundo paso se considera el modem satelital en estado de suspensión al igual que el resto de la electrónica en este punto se considera que el sistema puede permanecer en este estado durante un periodo de 12 Hrs. En e, tercer paso se considera únicamente el estado del GSM y parte de la electrónica en operación en donde también se considera que puede permanecer por un periodo de 12 Hrs. En el último paso se considera el estado de suspensión la cobertura GSM por un tiempo de 12 Hrs. Por lo que al realizar la suma se estima que se tiene un consumo de 1660 mA por día.

El sistema KAXAN requiere operar de manera autónoma durante un periodo mínimo de tres días por lo que se estima que tendrá un consumo de 4980 mA. Por lo que es necesario utilizar una batería con capacidad igual o mayor a 4980 mA/H y un voltaje de 9 a 32 volts, el cual es el voltaje de operación del modem satelital (34), todos los demás componentes del sistema operan con voltajes menores, por lo que se implementarán reguladores en el sistema de alimentación.

3.1.3. Selección de la batería.

Después de haber realizado el estudio y evaluación de las distintas tecnologías de las baterías, los requerimientos del sistema electrónico KAXAN y la estimación de la demanda y consumo. Se decide utilizar la tecnología de Iones de Litio (Li-Ion), ya que estas baterías se encuentra entre las mejores de acuerdo a la densidad energética, los niveles de voltaje por célula es mucho mayor a las otras tecnologías, peso y dimensiones, así como cumple con los requisitos del sistema en la cuestiones de seguridad. Eligiendo el sistema de celdas adecuado, es posible proporcionar la energía necesaria para mantener al KAXAN operando durante un tiempo mínimo de 72 horas, sin la necesidad de recibir una recarga, con una vida de las células de aproximadamente 2 años en condiciones óptimas. Por óptimas condiciones se refiere a no permitir que las células se descarguen a menos de 80% de su voltaje nominal (3.7 volts), no

permitir sobre cargas sobre su voltaje máximo (4.2 volt), así como no someter las células a temperaturas mayor a las recomendadas por el fabricante, al no cumplir con estos requerimientos mínimos se corre el riesgo de acortar el tiempo de vida de las células de manera significativa.

Los voltajes que proporciona por célula la batería Li-Ion se encuentra entre el rango de 3.7 volt nominales y 4.2 volt como máximo, el sistema KAXAN requiere de un voltaje de 9 volts como mínimo. Aplicando las leyes de voltajes de Kirchhoff, se requiere 3 células en serie, lo cual proporciona un voltaje de $3.7 \times 3 = 11.1$ volt nominales, con máximo de $4.2 \times 3 = 12.6$ volts, quedando el sistema de baterías en el voltaje optimo de operación deseado.

En relación a las corriente en que se fabrican las baterías Li-IOn encontramos en las especificaciones de los fabricantes 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000 mA/H. se considera este rango ya que se encuentra dentro de nuestra utilidad, cabe mencionar que conforme incrementa los A/H incrementa el costo, el tamaño y el peso.

En relación al consumo energético calculado en la Tabla 3.1 se obtuvo una corriente aproximadamente 1660 mA por día, por lo que para cubrir los requerimientos de 72 horas de autonomía se tiene una corriente 4980 mA/H, para obtener esta corriente se relaciona la corriente de las células que proporcionan los fabricantes, el cual aplicando las leyes de corrientes de Kirchhoff se tiene dos células de 2700 mA/H ($2 \times 2700 \text{ mA/H} = 5400 \text{ mA/H}$).

Con los voltajes mínimos de operación, manteniendo al modem satelital con un voltaje optimo de operación y cubriendo los requerimientos de corriente se obtiene una batería en configuración (3S, 2P), es decir 3 elementos en serie por dos en paralelo, cada uno de 2700 mA/H. Obteniendo en su conjunto una batería de 11.1 volts a 5400 ma/H. ver Figura 3.1. Éste cumple con los requerimientos planteados en la problemática del proyecto, la capacidad la energía excedente proporciona un margen de seguridad para el sistema



Figura 3.1 Bateria 5400 mA/h, 11.1 volts

3.1.4. Protecciones del sistema.

El sistema de carga es capaz de soportar las variaciones de voltaje que se tiene en las terminales de alimentación, sobre todo cuando las variaciones de voltaje son mucho mayor al nivel de voltaje nominal de las células. Cuando los voltajes son mayores al nominal estos voltajes se deben de suprimir por algún medio, el cual se recomienda para estos casos realizarlo con TV's o Varistores.

El sistema cuenta con protección contra inversiones en el voltaje de alimentación, esto se realizó por dos medios, por medio mecánico utilizando un conector polarizado en el gabinete, pero debido a que en la placa dicho conector se cableó mediante terminales atornillables, se implementó también una protección eléctrica mediante un diodo.

Para evitar sobrecorrientes que pudieran dañar los conductores o los elementos del circuito de potencia se utilizó un fusible de auto restablecimiento.

Otra de las protecciones con las que se debe de contar es el cuidado de la descarga, evitando en lo posible descargar completamente la pila para no acortar su vida útil. Esta protección se implementó en el microprocesador central, el cual al recibir el nivel de carga de la batería, si este es menor al 40%, emite alarmas avisando la necesidad de conectar el sistema para su carga; si el nivel de carga es menor al 20%, el microprocesador central manda apagar a todos sus periféricos, eliminando con esto mas del 95% del consumo permitiendo que el sistema se mantenga por días en dicho estado sin ocasionar daños a la batería.

La alimentación del sistema KAXAN se encuentra sujeta a perturbaciones eléctricas, la alimentación a 19 VCD se puede decir que es una alimentación libre de transitorios, en lo que respecta a la segunda alimentación de 12 VCD el cual proviene de una batería conectado a las terminales del alternador de un motor fuera de borda en donde el voltaje de salida del alternador oscila entre 12 VCD a 14.6 VCD, esté voltaje depende de la aceleración del motor fuera de borda. Sin embargo la alimentación no se considera libre de transitorios, ya que las conexiones del sistema KAXAN a las terminales del motor fuera de borda, no son conexiones rigurosas, por lo que existe el riesgo de falsos contactos lo que genera sobre voltajes y corrientes del orden de hasta 10 veces mayor al nominal. Los sobre voltajes y corrientes generados son excesivos para el sistema por lo que existe la necesidad de filtrarlos o drenarlos a tierra.

Protección contra sobre corriente se realiza por medio de un fusible auto recuperable, el cual tiene la capacidad entrar en operación después de una falla, esta ventaja hace muy versátil su aplicación para el sistema KAXAN, al presentarse fallas por sobre corriente no existe la necesidad de realizar reposición del elemento de protección. El número de parte utilizado LITTELFUSE 60R250, el cual tiene una corriente de sostenimiento de 2.5 A, con una corriente de falla de 5.0 A, voltaje máximo de 60 V (F1 en la Figura 3.1).

Las protección contra sobre volteje se realiza a por medió de TVS (Transient Voltage Suppressors) y varistor cada uno de ellos en distintos niveles de operación. Como se mencionó la protección por voltajes inversos se realizó por medio de un diodo (D10 ver Figura 3.1), con lo mencionado en este párrafo se realiza la coordinación de aislamiento. La selección del TVS el cual se elige en base al voltaje de operación de 20.5 Volts nominales y un voltaje de corte de 33.3 volts con una corriente de operación de 1mA y soporta picos máximos de corriente de 71 amperes antes de destruirse, el número de parte utilizado es: TVS 1.5KE15CA (D9 ver Figura 3.1), con voltaje de operación. 12.8 volt y un voltaje de corte a 21.2 volt. La selección del varistor se realiza en base al voltaje máximo de operación y a la corriente que puede dejar circular por el sin que se destruya durante un tiempo máximo de 8 a 20 μ s. en corriente directa, por lo cual el Varistor seleccionado es el P27Z2 (VAR en la Figura 3.1) con voltaje de operación 22 VCD y un voltaje máximo de corte de 53 volt.

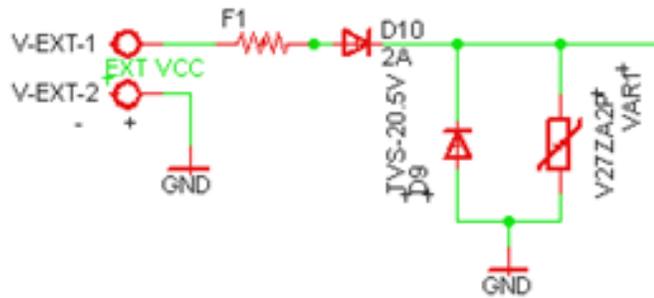


Figura 3.2 Protecciones del sistema

Como protección adicional para los reguladores del sistema de control y gestión de datos, así como para la alimentación del termosalinómetro a través del puerto NMA, se agrega un segundo varistor (VAR2), teniendo características similares de operación que (VAR1), en donde la diferencia es únicamente el voltaje de operación el cual se encuentra en 14 volts nominales y un voltaje máximo de corte 33 volts. El cual se encuentra al centro, parte inferior de la Figura 3.3.

3.2. Circuito de carga

El desarrollo del sistema de carga para el proyecto “Desarrollo de infraestructura tecnológica de sistemas de adquisición y comunicación de información geoespacial para el sector pesquero de México”, se basa en la carga de celdas en funcionamiento, con la técnica de carga por pulsos de voltaje (goteo constante CTV). Se optó por un sistema con la capacidad para realizar la carga de las celdas en funcionamiento por los requerimientos del circuito electrónico, al ser diseñado como un circuito hermético contra humedad y chorro de agua, el desmontaje de las baterías no es posible ya que se corre el riesgo de perder la hermeticidad y la posible filtración de agua al interior del circuito electrónico por lo que se dañaría en forma parcial o total.

Al utilizar la técnica de carga por goteo de voltaje, esta aplicación permite incrementar la vida útil de las baterías. Como se ha mencionado anteriormente, esta técnica consiste en mandar pulsos constante de voltaje durante todo el periodo de carga, el realizar la carga por pulsos permite, en el ciclo de reposo, el reacomodo de los electrolitos, dado que permite que

las baterías se enfríen, por lo tanto las baterías se mantienen a temperaturas bajas durante la carga, alargando con esto el tiempo de vida de las mismas.

El control para implementar la técnica de carga por pulsos de voltaje, lo realiza un microcontrolador de la familia PIC12FXX, éste gestiona la cantidad de corriente de carga, a través de dos transistores MOSFET uno de canal N y otro de canal P (ver Figura 3.3. Recuadro Transistores de carga), en donde el transistor de canal N, es controlado por una salida digital del microcontrolador y posteriormente conmutar al transistor P. El cual controla la corriente promedio que circula hacia la batería. Para realizar el sensado del nivel de la batería y la presencia de una fuente externa de alimentación se utilizan dos entradas analógicas (Ver Figura 3.3. Recuadros Sensor de alimentación y sensor de batería). La alimentación del microcontrolador utiliza dos reguladores de tensión (MC78M00, MCP1703), (Ver Figura 3.3. Recuadro reguladores de voltaje), el primer regulador alimenta al circuito microcontrolador por medio de la fuente externa, el segundo regulador alimenta al mismo circuito por medio de la batería, el motivo de realizar una doble alimentación al microcontrolador, se debe a que si la batería se descargara en su totalidad no sería posible alimentarse por su fuente interna, por lo tanto la carga no se realizaría, al tener un segundo regulador alimentado por la fuente externa la carga se realiza sin importar las condiciones de la batería. Este sistema tiene implementado una comunicación serial por software para enviar información del estatus de carga de la batería durante el tiempo de carga o cuando el usuario lo requiera, este sistema se implementó mediante las líneas BATSOL y BAT232 como puede apreciarse en la figura 3.3.

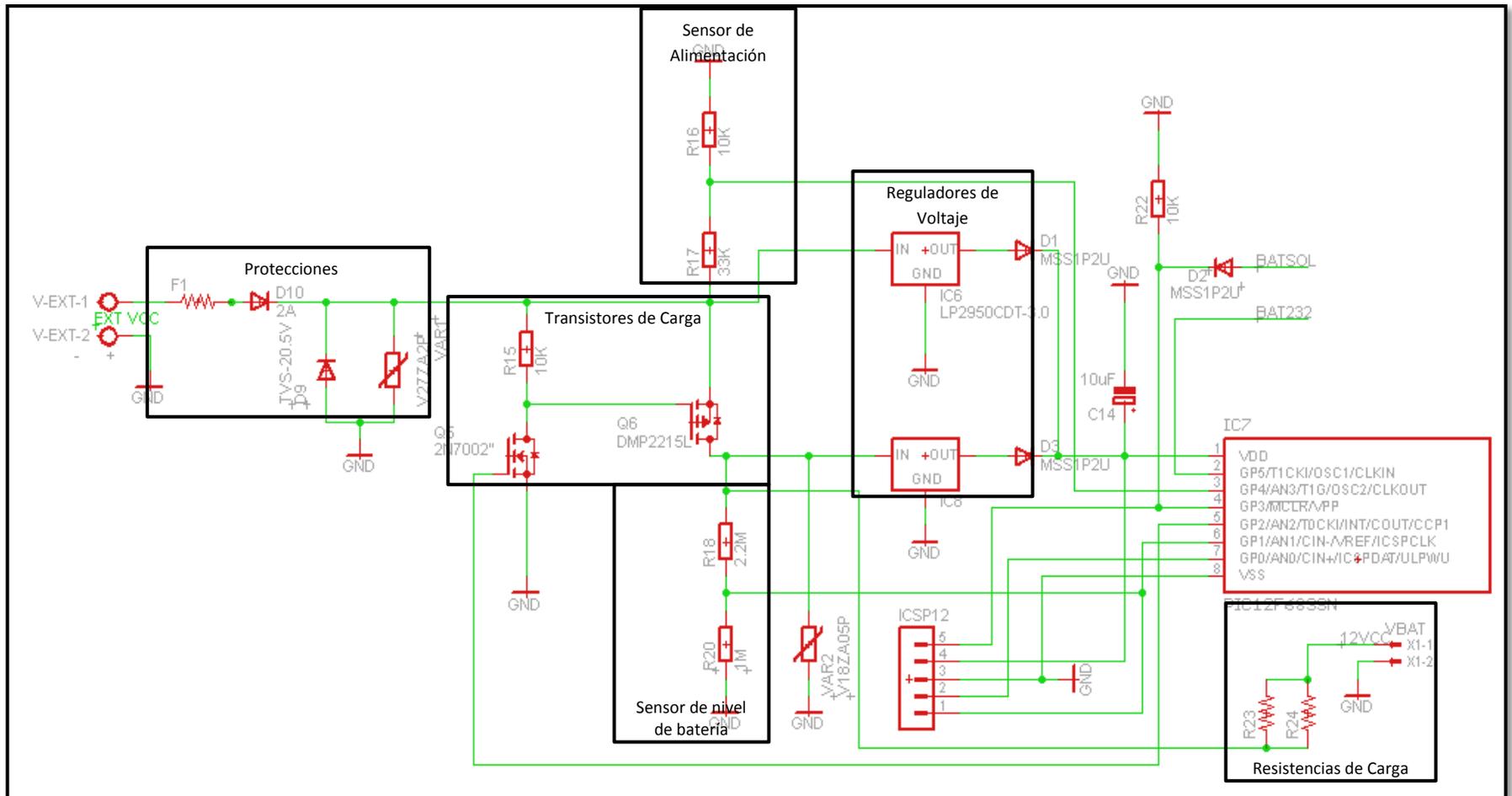


Figura 3.3 Esquema del Circuito de carga

A Continuación se proporciona la lista de los componentes utilizados y el número de parte del fabricante.

- F1. Fusible auto recuperable, 60R250XF.
- Diodo Schottky: D1, D2, D3 (MSS1P3U-M3/89A.)
- D9. TVS (Supresor de Transitorios de Voltaje), 1.5KE24A.
- D10. Diodo rectificador de propósito general, S2A.
- Varistor: VAR1 (V27ZA2P), VAR2 (V18ZA05P).
- Resistencias: R15 (10 k Ω), R16 (10 k Ω), R17 (33 k Ω), R18 (2.2 M Ω), R20 (1 M Ω), R22 (10 k Ω), R23 y R24 (1 Ω).
- Q5. Mosfet canal N, 2N7002-7-F.
- Q6. Mosfet canal P, DMP2215L-7.
- IC6. Regulador de Voltaje a 5 Volts, MC78M00.
- IC7. Microcontrolador PIC12f683
- IC8. Regulador de Voltaje a 5Volts LDO (Low Dropout), MCP1703.
- C14. Capacitor de 10 μ f.

3.3. diseño del PCB

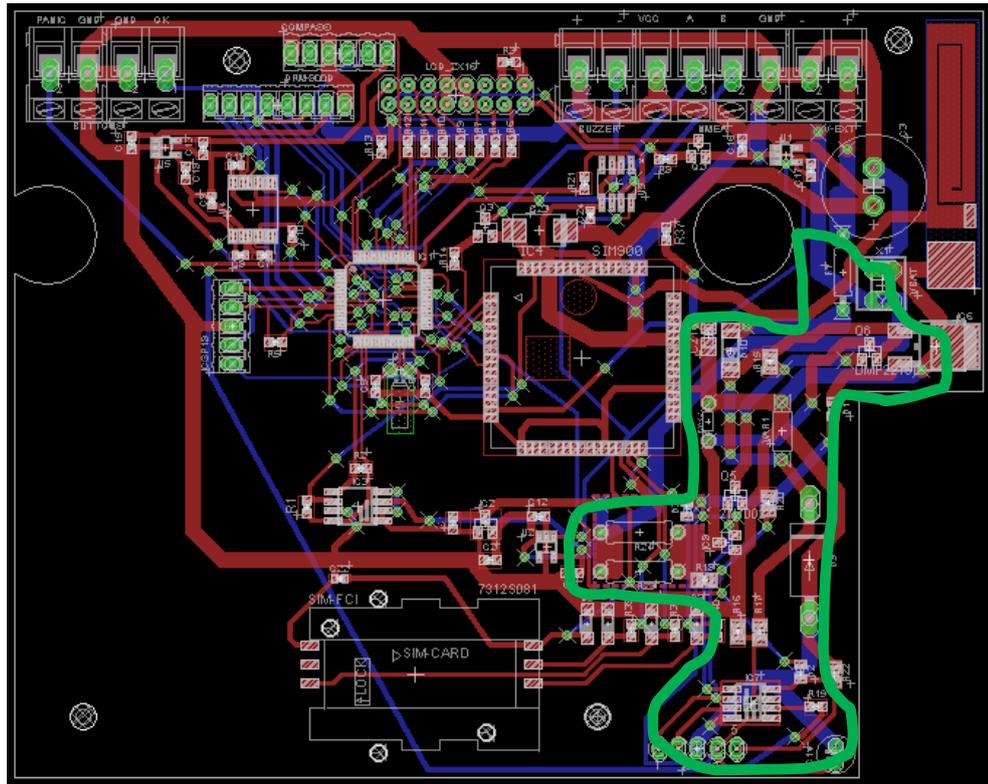


Figura 3.4 PCB del circuito de carga

En la Figura 3.3 se observar la tarjeta electrónica final del sistema KAXAN, en la sección verde se encuentra marcado el sistema de carga. Lo más destacado de este diseño fue el cambio de posición de la resistencia de carga, la cual en un principio, se utilizó una resistencia de montaje superficial como se presenta en la Figura 3.4. Por cuestiones no contempladas en el diseño inicial, al realizar la carga a una corriente de 1A, esta resistencia se desoldaba debido a la alta temperatura, sin llegar a destruirse, en primera instancia se procedió a realizar el cambio con montaje de agujeros pasantes (Through-Hole), posteriormente se realiza el cambio de posición y se fijan las resistencias de agujeros pasantes con una masa para disipar parte del calor; esto se puede observar en la Figura 3.5.

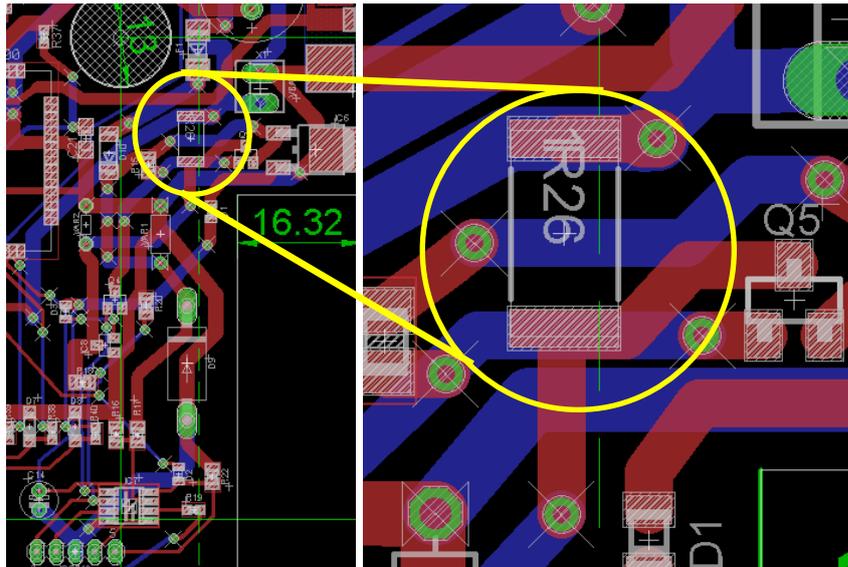


Figura 3.5 Resistencia de carga de montaje superficial

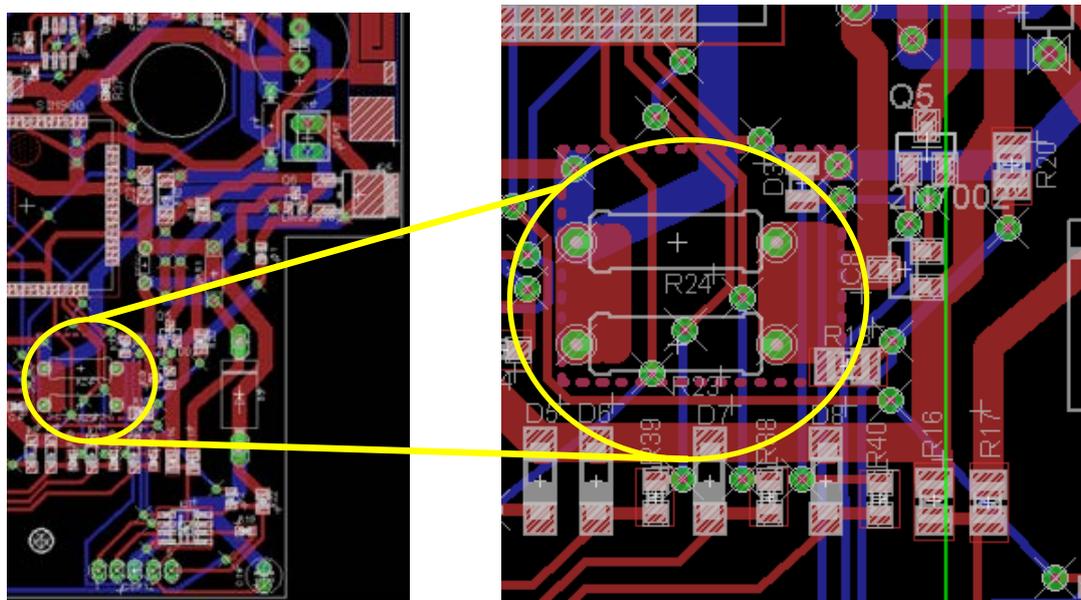


Figura 3.6 Ubicación de resistencia de carga

3.4. Diagrama de Flujo del sistema de carga.

EL sistema de carga del sistema KAXAN, respecto al software se basa en los siguientes diagramas de flujo en cual se encuentra en tres partes. Primero la interrupción, posteriormente la gestión de la carga y finalmente el proceso de enviar datos al microcontrolador central.

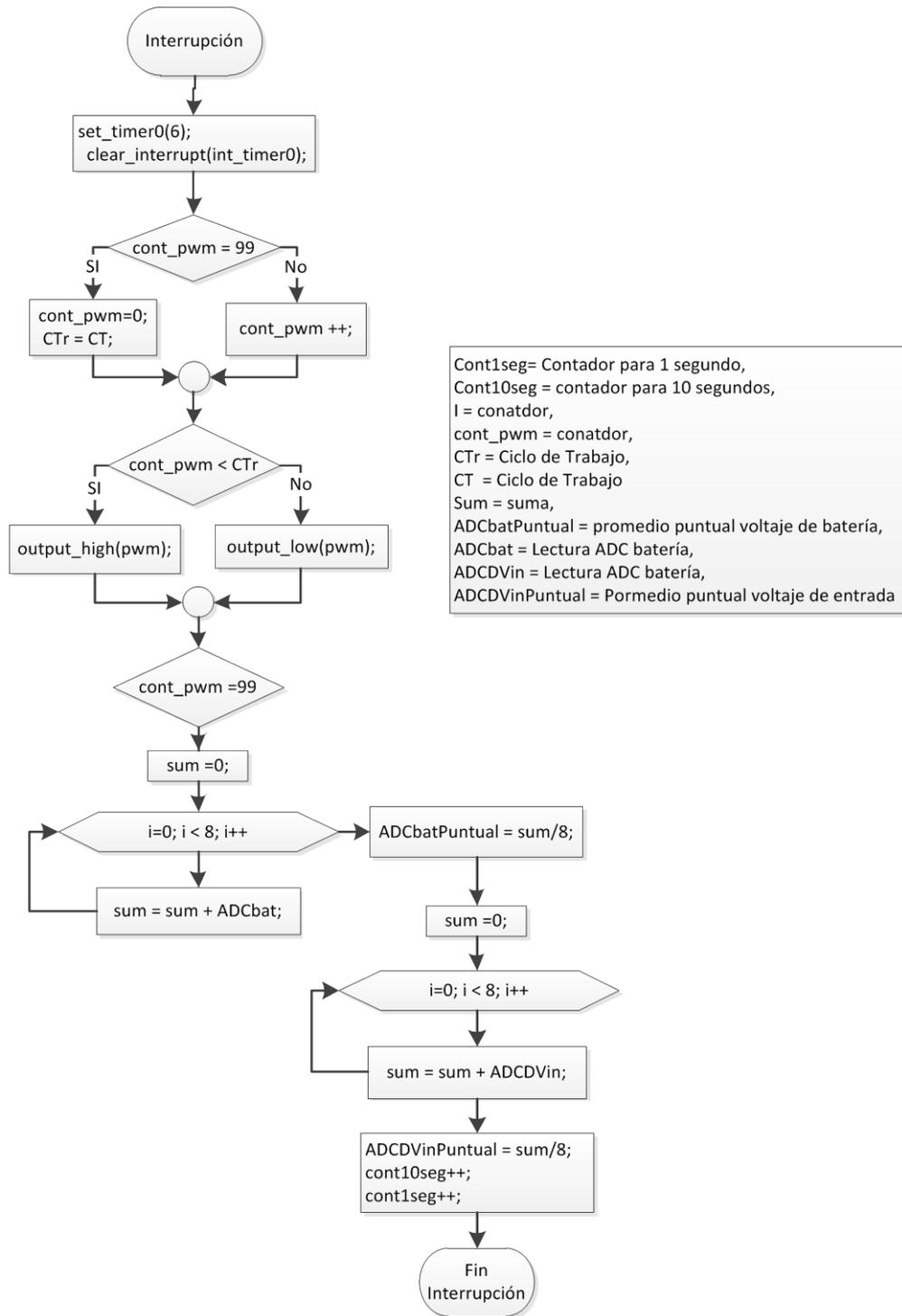


Figura 3.7 Diagrama de Flujo del sistema de Carga parte 1 de 3

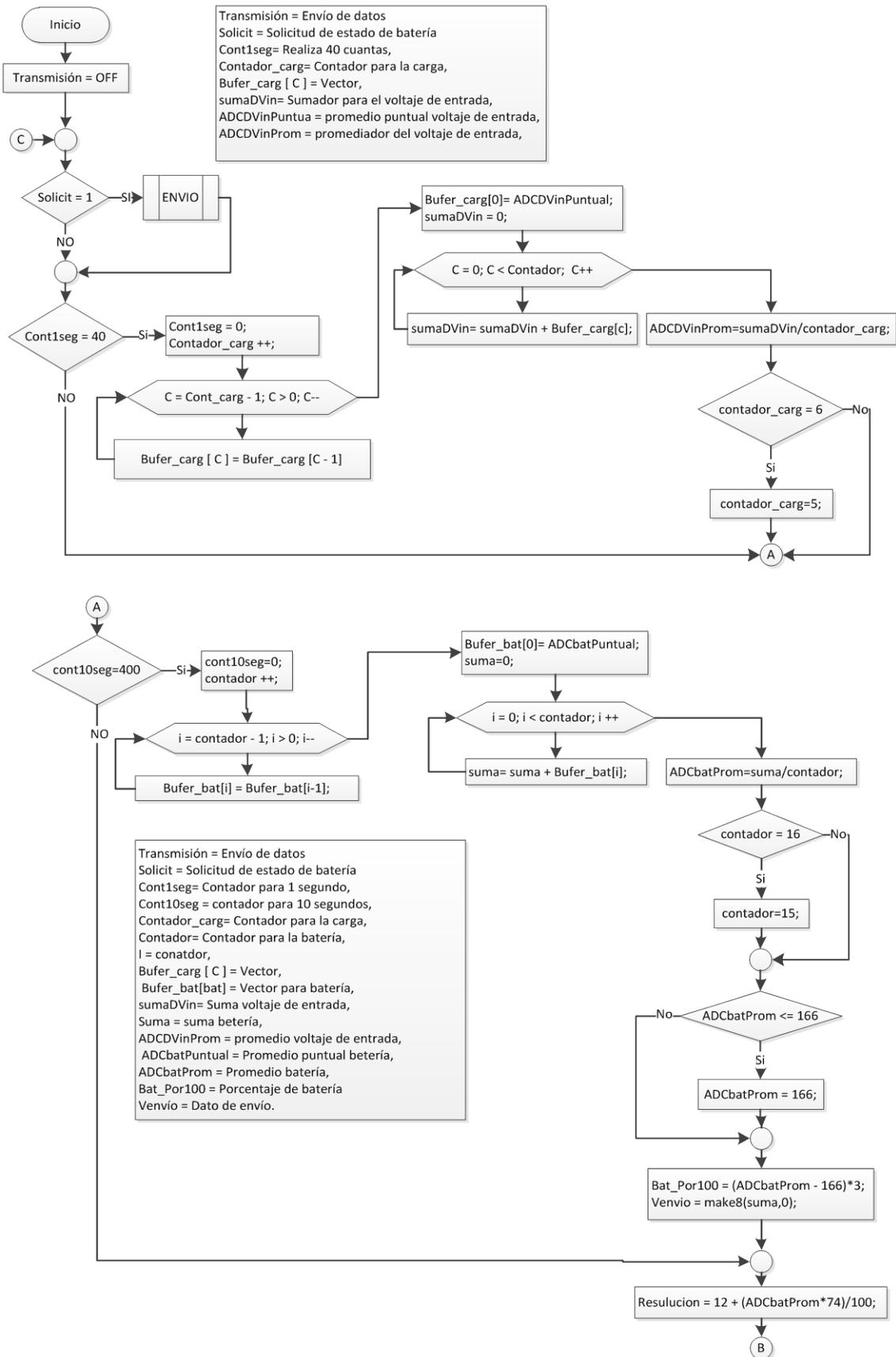


Figura 3.8 Diagrama de Flujo del sistema de Carga parte 2 de 3

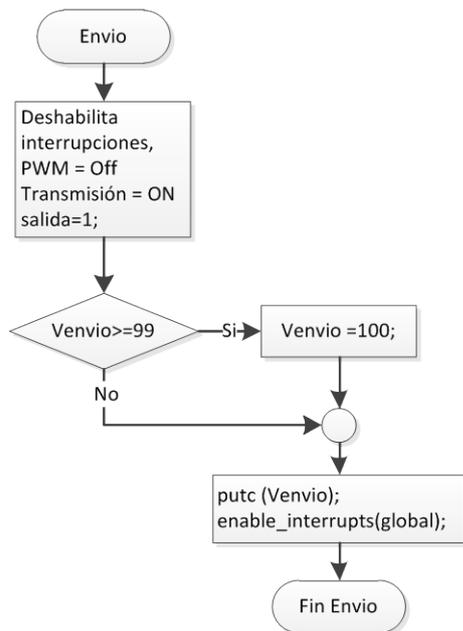
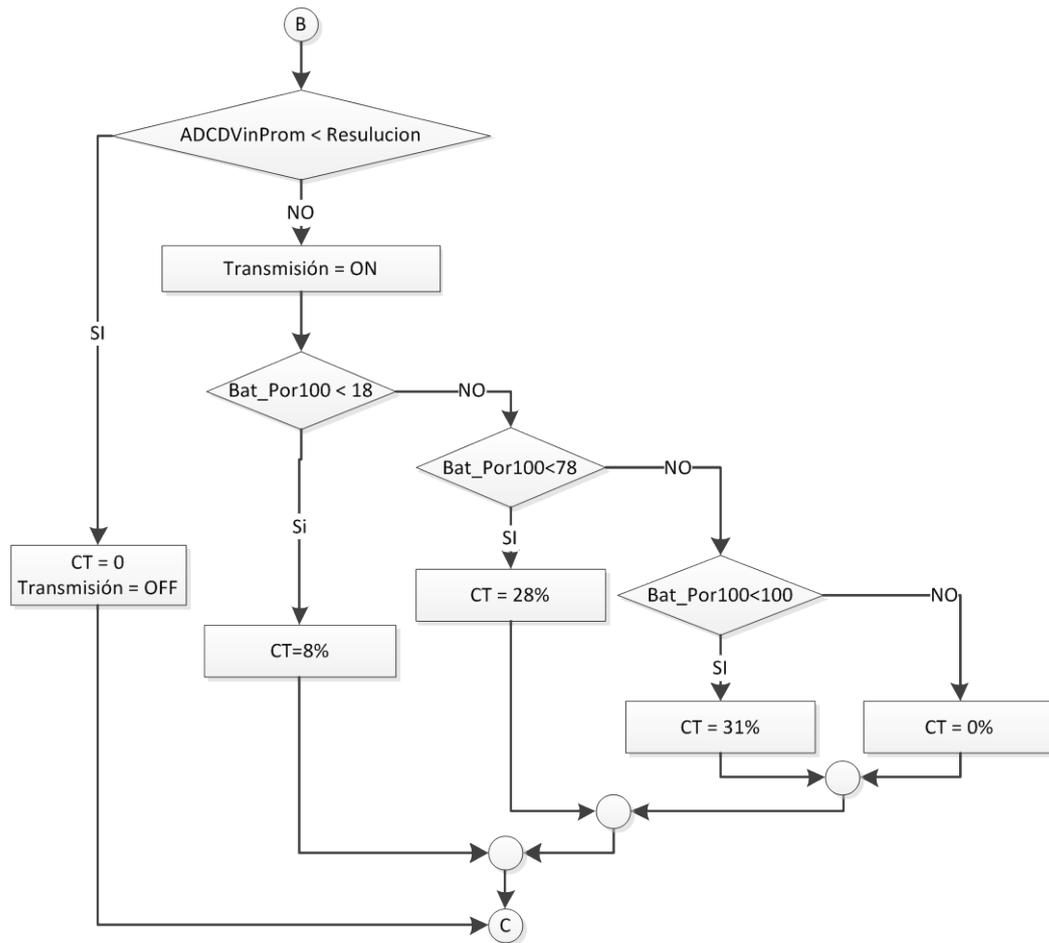


Figura 3.9 Diagrama de Flujo del sistema de Carga parte 3 de 3

En las figura 3.6, 3.7 y 3.8 se observa los diagramas de flujo implementados en el microcontrolador para realizar la gestión de carga de las baterías Li-Ion. En la figura 3.6 se observa la realización de la interrupción, dentro de la interrupción se realiza el control de los pulsos de carga (PWM), también se lleva a cabo un promedio puntual del voltaje de la batería (ADCbatPuntual), de igual forma se realiza el promedio puntual del voltaje de alimentación (ADCDVinPuntual), posterior a estos procesos se incrementan dos contadores (cont10seg, cont1seg) con lo que finaliza el proceso de interrupción.

En la figura 3.7 se observa el inicio del programa principal en donde como primer paso se realiza el apagado de la línea de transmisión de datos (Transmision), el segundo paso se realiza el testeo de la solicitud (Solicit), cuando la solicitud es afirmativa se inicia la subrutina de envío de datos, en caso negativo, continua con el chequeo del contador (Cont1seg), cuando este es igual a 40 se realiza un promedio móvil, el cual consiste en llenar un vector de 6 posiciones, con datos del promedio puntual del voltaje de alimentación (ADCDVinPuntual) de acuerdo al número de lecturas registrados por el contador (Contador_carg). Al finalizar del promedio móvil de la alimentación externa, se inicia el promedio móvil de la batería, en donde se espera que el contador (cont10seg) se iguale a 400, para iniciar el llenado de las 16 posiciones del vector, con los valores que adquiera la variable (ADCbatPuntual), cada una de las posiciones así como el promedio depende de un contador (contador). Al finalizar el promedio se realiza una conversión a porcentaje (Bat_Por100).

Se puede observar que al finalizar el los promedios se calcula la variable (Resolución) el cual tiene la función de estar un volt mayor al nivel de voltaje de la batería, para poder determinar la ecuación de la variable Resolución se realizó lo siguiente:

De la Figura 3.2 en las resistencias $R16=10\text{ K}\Omega$, $R17=33\text{ K}\Omega$ forman el divisor de voltaje del voltaje de entrada y las resistencias $R18=2.2\text{ M}\Omega$ y $R20=1\text{ M}\Omega$ son utilizados para el divisor de voltaje de la batería.

Para tener la resolución del voltaje de entrada se realiza las siguientes operaciones:

$$V_{sin} = \frac{V_{in} \times 10 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega + 33 \text{ K}\Omega}$$

$$V_{in} = V_{sin} \times \frac{43 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega}$$

$$V_{in} = 5 \text{ volt} \times \frac{43 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega} = 21.5 \text{ volts}$$

$$\text{Resolución}_{V_{in}} = \frac{21.5 \text{ volts}}{255 \text{ bits}} = 0.084314 \text{ volts/bits}$$

Dónde:

V_{sin} = Voltaje de sensor de entrada.

V_{in} = voltaje de entrada.

$\text{Resolución}_{V_{in}}$ = Resolución del voltaje de entrada.

5 Volts = voltaje máximo aplicada a la entrada analógica del microcontrolador.

255 = Configuración del convertidor del analógico digital a ocho bits.

$$V_{sbat} = \frac{V_{bat} \times 1 \text{ M}\Omega}{1 \text{ M}\Omega + 2.2 \text{ M}\Omega}$$

$$V_{bat} = V_{sbat} \times \frac{3.2 \text{ M}\Omega}{1 \text{ M}\Omega}$$

$$V_{bat} = 5 \text{ volt} \times \frac{3.2 \text{ M}\Omega}{1 \text{ M}\Omega} = 16 \text{ volts}$$

$$\text{Resolución}_{V_{bat}} = \frac{16 \text{ volts}}{255 \text{ bits}} = 0.062745 \text{ volts/bits}$$

V_{sbat} = Voltaje de sensor de batería.

V_{bat} = voltaje de batería.

$\text{Resolución}_{V_{bat}}$ = Resolución del voltaje de batería.

5 Volts = voltaje máximo aplicada a la entrada analógica del microcontrolador.

255 = Configuración del convertidor del analógico digital a ocho bits.

$V_{in} > 1 + V_{bat}$ Cálculo para obtener un volt mayor al nivel de batería, el cual permite realizar la carga cuando el voltaje de alimentación se mayor a un volt al de la batería.

$$ADCDVinProm \times ResolucionVin > 1 + ADCbatProm \times ResolucionVbat$$

$$ADCDVinProm > \frac{1 + ADCbatProm \times ResolucionVbat}{ResolucionVin}$$

$$ADCDVinProm > 11.86 + ADCbatProm \times 0.74418$$

$$ADCDVinProm > 12 + (ADCbatProm \times 74)/100$$

Continuando con la descripción del diagrama de flujo en la Figura 3.8 se observa la comparación del nivel de voltaje de entrada (ADCDVinProm) con la variable (Resolucion), cuando el voltaje de entrada es mayor a un volt, respecto a la batería se inicia el proceso de carga, y dependiendo de los niveles del voltaje de la batería se utiliza uno de los tres ciclos de trabajo definidos.

Para finalizar se tiene la subrutina del envío de información del sistema, esta transferencia de datos se realiza siempre y cuando exista una petición por parte del sistema.

3.5. Firmware del sistema KAXAN.

El Firmware del KAXAN se desarrolla en software CCS. El programa se realiza de acuerdo a las necesidades requeridas para el sistema, por lo que se configura para un microcontrolador pic12f876. Las configuraciones realizadas para este microcontrolador se encuentra el uso del reloj interno, el timer0, dos terminales en con figuración analógica, una terminal como salida digital, otra una como entrada digital, una para comunicación serial.

En el anexo, Figura 5.1 se puede observar el uso del timer0, proporciona los tiempos necesarios para generar pulsos modulados (PWM) y el incremento de contadores, utilizados para la generación de promedios en determinados tiempos. Para determinar el tiempo del ciclo de trabajo se realizaron las siguientes operaciones.

El tiempo de desbordamiento del Timer0 se calcula con la siguiente ecuación:

$$T = T_{CM} \times Prescaler \times (256 - Carga\ Timer0).$$

Dónde:

T_{CM} es el ciclo de máquina el cual se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$T_{CM} = \frac{4}{F_{osc}}$$

Se tiene el timer0 a 8 bits por lo que puede realizar 255 cuentas como máximo. Un reloj interno de 4MHZ y un prescaler de 1.

Por lo que al sustituir los valores se tiene:

$$T = 1\mu s \times 1 \times (256 - 6) = 0.25\ ms$$

Por lo que al realizar un conteo de 100 para generar el PWM se tiene un periodo de 25 ms, para proporcionar una frecuencia de 40 HZ.

Con respecto a los tiempos para generar los promedios móviles, se considera 1 segundo para realizar el promedio del voltaje de entrada, para tener ese tiempo se requiere de 40 cuentas de 25 ms cada cuenta, para el vector de 6 localidades se tiene un tiempo total de 6 segundos tiempo utilizado para este promedio. Para el promedio de la batería se considera 400 cuentas de 25 ms cada cuenta para tener un tiempo de 10 segundos, el vector utilizado tiene 16 localidades por lo que el tiempo para realizar el promedio es de 2.6 minutos.

3.6. Mejoras propuestas para el KAXAN.

Entre las mejoras del sistema KAXAN, se encuentra la integración del sistema de carga, donde debe de contar con una fuente conmutada con capacidad de regular la salida a 13 volts, con una corriente de 1 Ampere o mayor. Es importante mencionar que la fuente debe ser de tipo convertidor Buck-Boost, capacidad de tener integrado el balanceo de carga de las baterías, así como regular la fuente a una carga de corriente

constante para el inicio del ciclo de carga, mantener un voltaje constante al final de la carga.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. Resultados

En el capítulo 2 se presenta en tabla 1.1, el comparativo de tecnologías en baterías recargables, donde se puede observar que la de mayor densidad de carga, con un voltaje por célula de 3.6 volts y una descarga menor del 10% mensuales es la batería Li-Ion (Iones de Litio.).

El apartado 3.2.1. estimación de la carga y consumo, en la tabla 3.3. Calculo de la demanda y del consumo, se presentaron los cálculos realizados para tener un estimado del consumo del sistema KAXAN, con lo cual se obtuvo el consumo de 1.66 A/Día. Por los requerimientos del sistema, la batería tendría que mantenerlo energizado durante un tiempo mínimo de 72 horas, por lo que nuestro sistema demanda un consumo de corriente de 4.98 A/72 Horas, por lo que es necesario utilizar una batería de mayor capacidad para satisfacer los requerimientos de consumo energético.

El sistema carga implementado es el de carga de baterías en funcionamiento el cual se considera como una sola célula, ya que en este caso, el sistema de balanceo lo tiene integrado por parte del fabricante, empleando la carga de baterías en funcionamiento se tiene la ventaja de que el sistema podrá ser sellado de manera hermética y realizar la recarga de la batería sin tener la necesidad de abrir el dispositivo y desmontar la batería para ser cargada.

Técnica de carga empleada: se utiliza la de pulsos de voltaje (goteo constante CTC) la cual se describió en el capítulo 1, apartado 1.5.1. Tecnología de carga. Al implementar esta técnica se determina que el sistema de carga tendrá tres periodos de operación el cual se puede observar en la figura 3.7, los ciclos de trabajo se determinan en base al voltaje de la batería; de esta manera se tiene, CT = 8% para un voltaje menor 10.8 volts, éste ciclo es necesario para iniciar la recarga de las células cuando se encuentran totalmente descargadas, permitiendo una corriente de carga mínima de 400 mA, que es aproximadamente 0.1C el cual es el recomendado para células li-Ion. CT=28% para voltajes menores a 12.1 volt y CT = 31% para voltajes

menor a 12.6 volt. Los dos últimos ciclos de trabajo permite continuar con la carga manteniendo una corriente aproximada de carga de 1000 mA que es aproximadamente a 0.2 C. Los ciclos de carga se determinan de manera experimental ya que no existe una fórmula para determinarse.

En las siguientes figuras se presenta los distintos ciclos de trabajo, primero se observa la señal del microcontrolador y posterior a ello se tiene la señal en terminales de la batería.

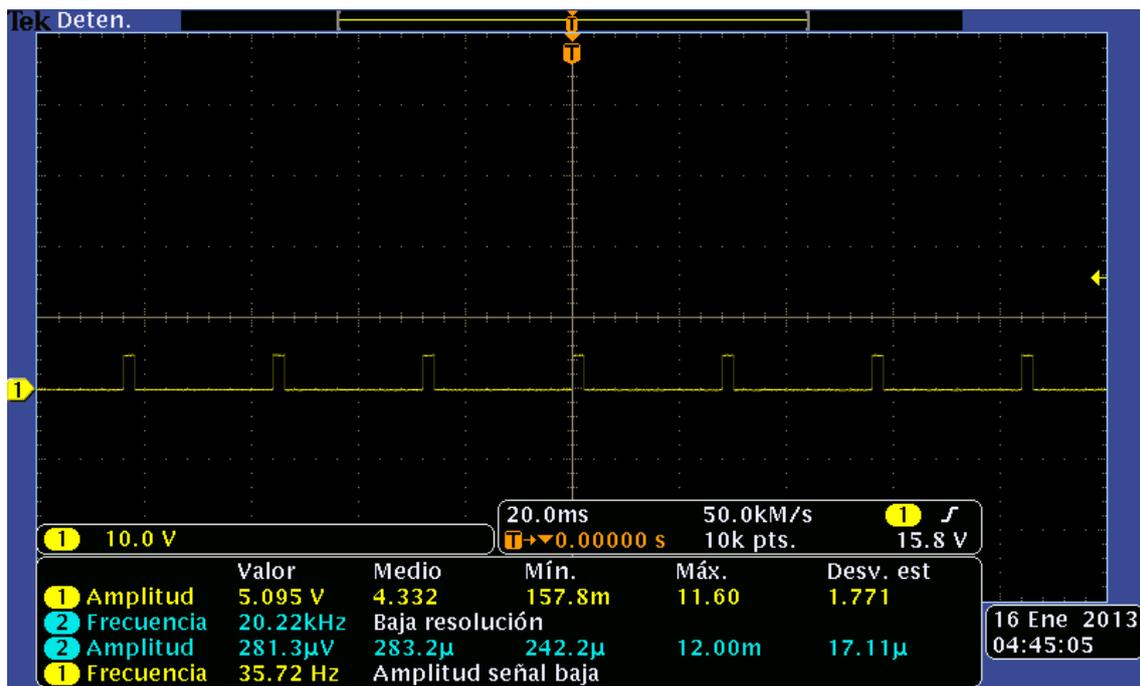


Figura 4.1 Ciclo de trabajo del 8% señal en la terminal del microcontrolador.

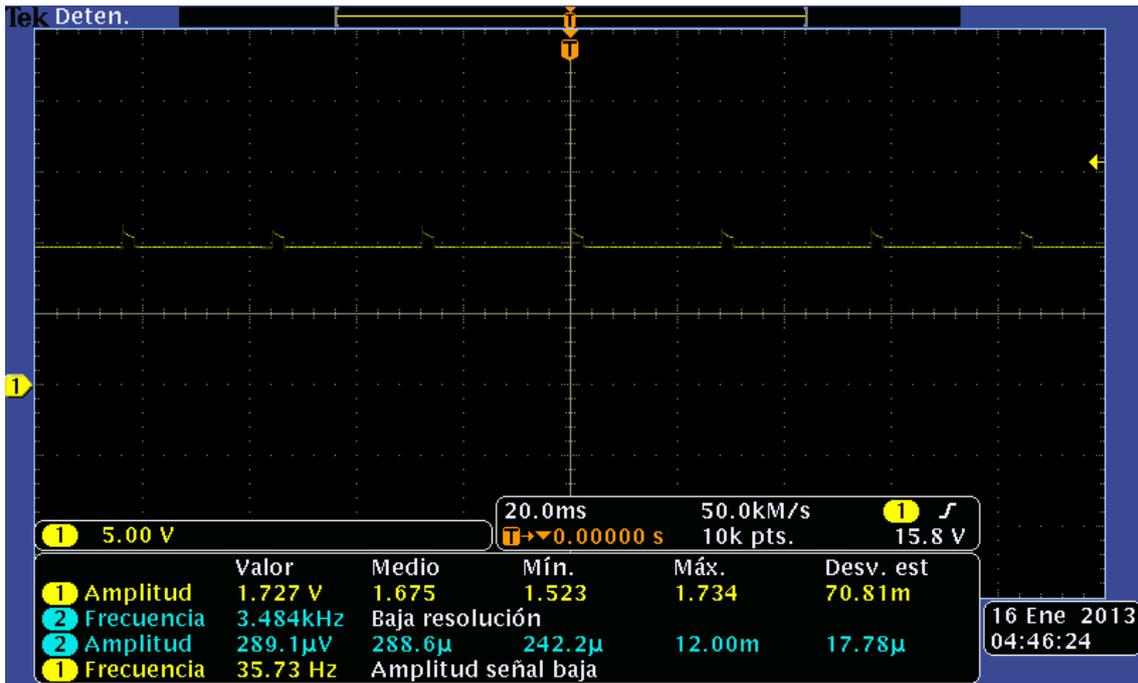


Figura 4.2 Ciclo de trabajo del 8% señal en terminales de la batería.

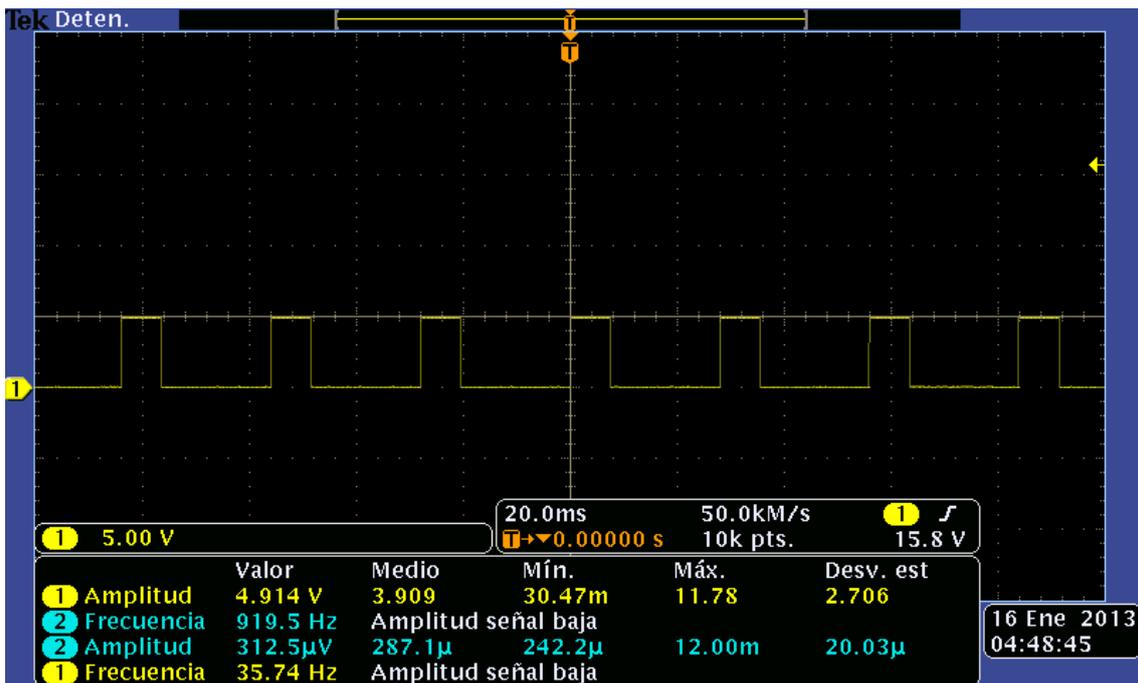


Figura 4.3 Ciclo de trabajo del 28% señal en la terminal del microcontrolador.

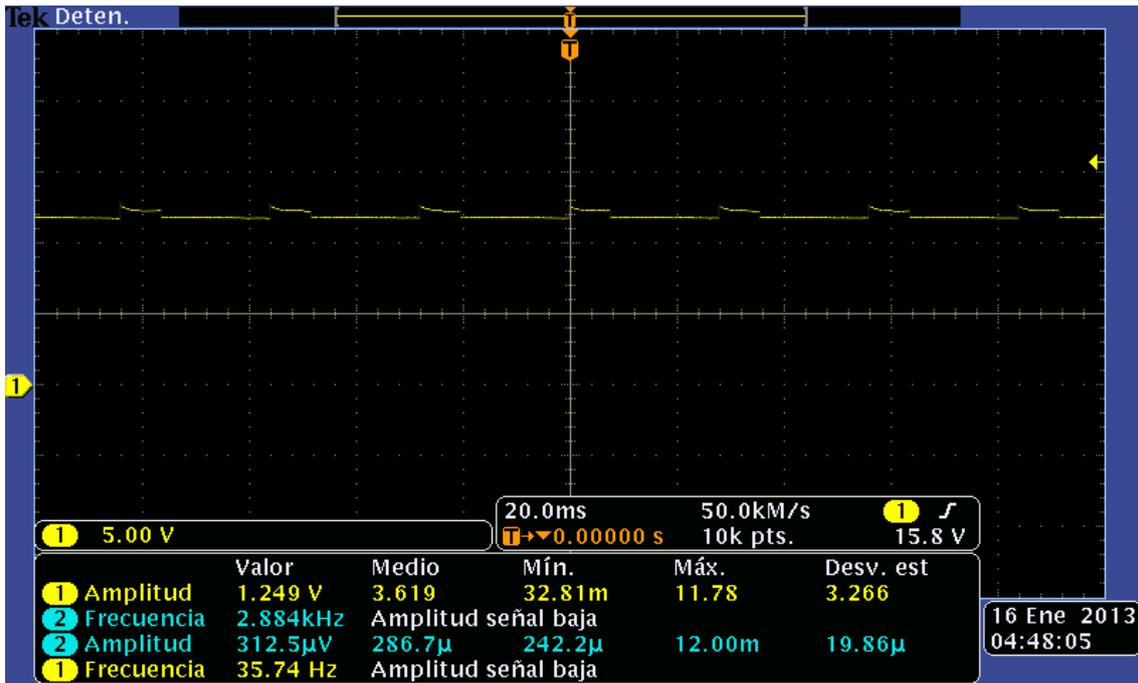


Figura 4.4 Ciclo de trabajo del 28% señal en terminales de la batería.

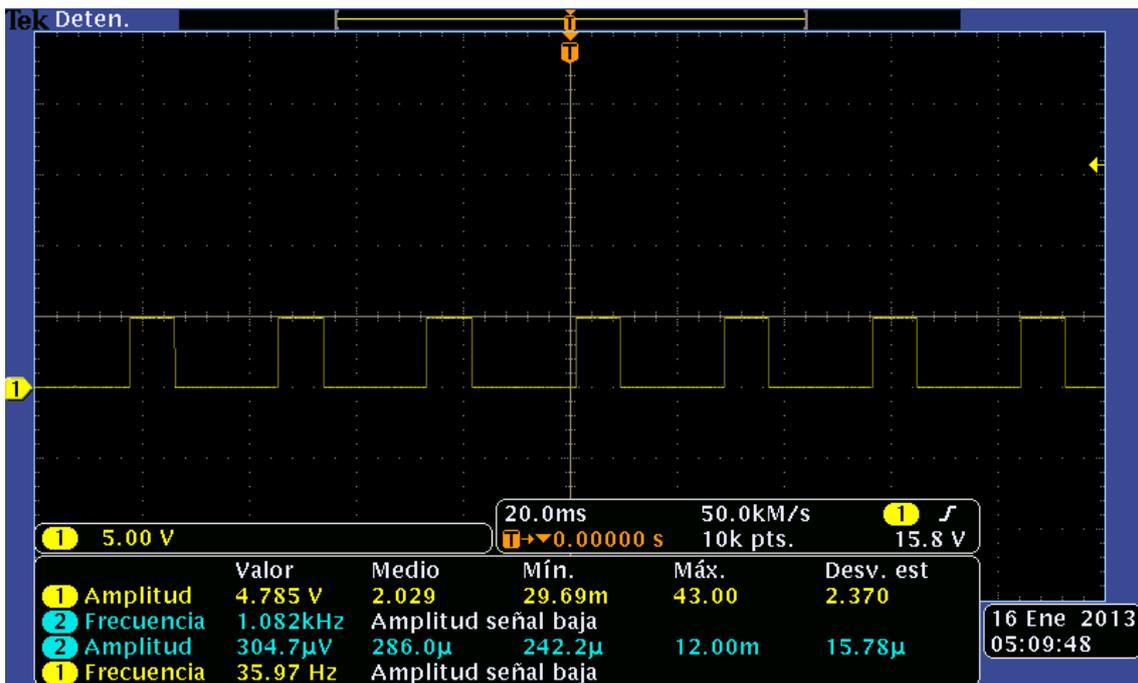


Figura 4.5 Ciclo de trabajo del 31% señal en terminales del microcontrolador.

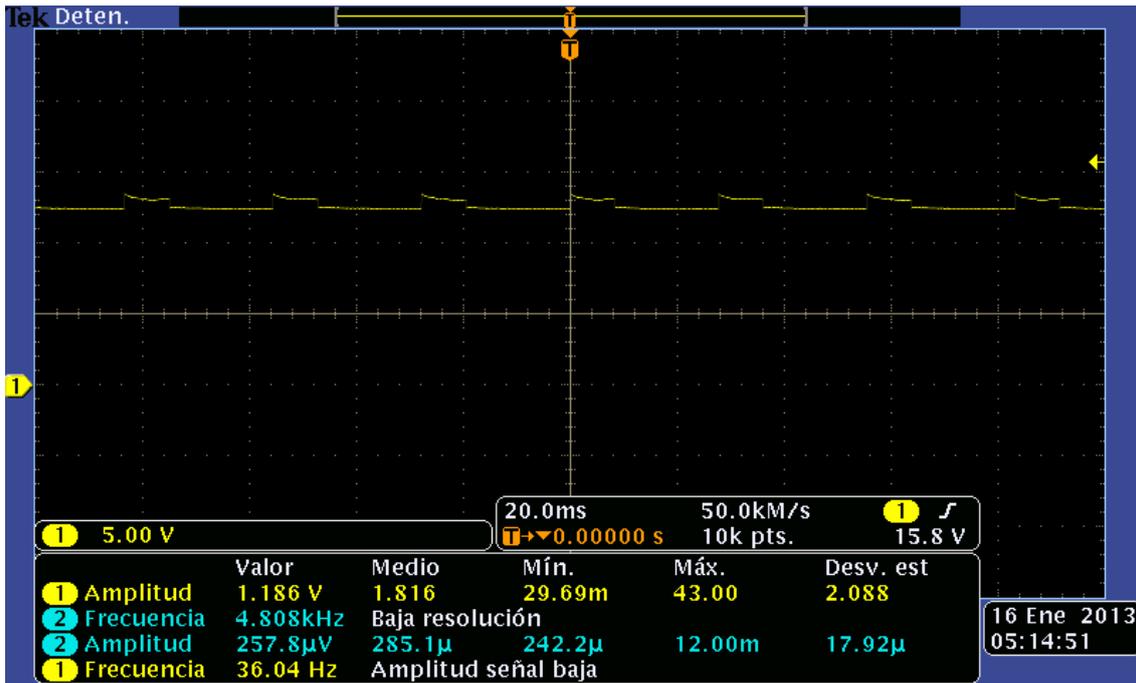


Figura 4.6 Ciclo de trabajo del 31% señal en terminales de la batería.

En las figuras 4.2, 4.4 y 4.6, se puede observar las formas de ondas de carga, en donde es visible el nivel de voltaje de la batería (pulso bajo) y el voltaje de carga (pulso alto), la diferencia entre los pulsos, representa el potencial que permite realizar la recarga de las células.

Con las diferencias de potencial en cada uno de los ciclos de trabajo y una resistencia de carga externa 1Ω , fue posible obtener las corrientes a 0.1C y 0.2C. Comenzando la carga con una batería totalmente descargada, las baterías llegan a su carga total en un tiempo aproximado de 6 hrs.

En la Figura 4.7 se observa la gráfica de carga obtenida al realizar este proceso con los distintos ciclos de trabajo. Las muestras fueron tomadas en intervalos de cinco minutos. Al igual se puede notar que en los primeros 50 minutos se realiza alrededor del 50% de la carga, posterior a ese tiempo el nivel de carga se incrementa de manera mucho más lenta hasta llegar al 100% de la carga. El sistema sensa el voltaje de la pila y al llegar al voltaje máximo (12.6 volts) detiene la carga para evitar daños en las células, por este motivo podemos observar un nivel de carga estable al final de la gráfica.

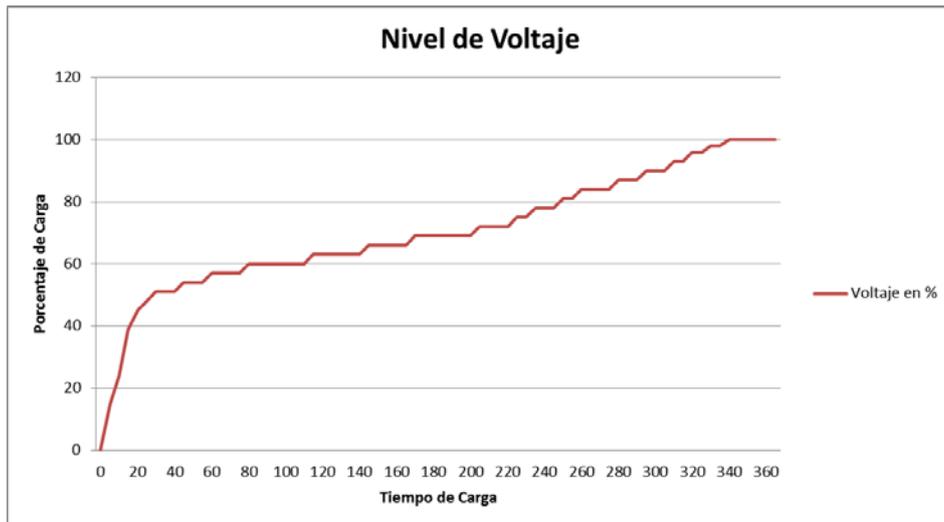


Figura 4.7 Gráfica de carga



Figura 4.8. Tarjeta electrónica Final



Figura 4.9 Equipo en Funcionamiento

En la Figura 4.8 se observa en la región marcada en naranja el circuito de carga final. El funcionamiento del circuito se presenta en la Figura 4.9, se observa el nivel batería actual.

Un resultado adicional de este trabajo es la publicación generada durante el desarrollo del mismo (35), “Selección En Tecnología De Baterías Para Alimentación De Dispositivos Electrónicos Portátiles”, para el “XI Congreso Nacional de Ingeniería Eléctrica Y Electrónica del Mayab”, en Septiembre de 2011, en la cual se presenta un análisis de las características más importantes de las principales tecnologías de baterías recargables en uso actualmente, y finalmente se presenta un criterio para la selección de estas tecnologías dependiendo del tipo de aplicación.

4.2. Conclusiones

Del estimado de carga y de la comparación de las distintas tecnologías en baterías, se determina utilizar una batería de lones de Litio (Li-Ion) de 11.1 volts y 5400 mA (3S2P). La realización de carga, utiliza el método células en funcionamiento con pulsos de voltaje constante, por medio de tres ciclos de trabajo. El tiempo total para una carga completa es de aproximadamente 6 horas.

En este trabajo se lograron tres retos muy importantes, el primero fue determinar de manera correcta el tipo de batería a utilizar. Solucionar el problema, de sobre temperatura en la resistencia de carga, tercer punto obtener lecturas fiables para determinar los niveles de carga de la batería y ser presentados al usuario de manera confiable.

Al finalizar este trabajo se obtienen resultados satisfactorios, al igual se cumple en cubrir cada uno de los requerimientos que en un principio se plantearon.

En la actualidad el sistema KAXAN se encuentra operando en las distintas embarcaciones que se han instalado desde el mes de noviembre del 2012, por lo que el sistema de carga se encuentra operando adecuadamente.

ANEXO

```
#INCLUDE <12f683.h>
#DEVICE ADC = 8
#fuses NOWDT, INTRC_IO, NOCPD, NOPROTECT, NOMCLR, NOPUT, NOBROWNOUT, NOIESO,
NOFCMEN
#USE DELAY(CLOCK=4000000)
#USE RS232 (baud=9600, xmit=pin_A5)
#include <math.h> //Necesaria para los cálculos matemáticos
int1 salida=1; //Variables de ecuación
int8 i, c, CT, CTr, cont_pwm, flag, Venvio, cont, cont1seg=0;
int16 suma=0, sumaDVin=0, contador=0, contador_carg=0, cont10seg=0, sum=0, ADCbat,
ADCbatPuntual, ADCDVin, ADCDVinPuntual, ADCDVinProm, ADCbatProm, Bufer_carg[6],
Bufer_bat[16], Bat_Por100, Resolucion;
#define pwm pin_a2
#define Transmision pin_a5
#INT_TIMER0 //Configuración del timer0
void int_time_base()
{
    set_timer0(6);
    clear_interrupt(int_timer0);
    // Se establece el contador de periodo, realiza 250 cuantas de un tiempo de 1 micro_seg cada
    cuenta (0.25 mseg) 4 ciclos por instrucción
    if (cont_pwm==99) // si cont_pwm ha realizado 100 cuentas (permite un tiempo de 25 mseg)
    {
        cont_pwm=0;
        CTr = CT;
    }
    else
        cont_pwm++;
    // genera la señal del pwm a 40 hz
    if (cont_pwm < CTr)
        output_high(pwm);
    else
        output_low(pwm);
    if (cont_pwm ==99) // por estar al final del ciclo.
    {
        set_adc_channel(1); // lee el canal 1 del sensor de la batería
        delay_us(20);
        sum =0;
        for (i=0; i < 8; i++) // realiza un promedio puntual de la lectura de la batería.
        {
            ADCbat=read_adc();
            sum = sum + ADCbat;
        }
        ADCbatPuntual = sum/8;
        set_adc_channel(3); //lee el canal 3 del sensor del cargador
        delay_us(20);
        sum =0;
        for (i=0; i < 8; i++) //Realiza un promedio puntual de sensor del cargador
        {
            ADCDVin=read_adc();
            sum = sum + ADCDVin;
            delay_us(20);
        }
        ADCDVinPuntual = sum/8;
        cont10seg++; //contador utilizado para el promedio de la batería
    }
}
```

```

        cont1seg++;    //contador utilizado para el promedio del cargador
    }
}
void main()
{
    setup_oscillator( OSC_4MHZ,7);    //configuración del oscilador el cual permite un por 7%
del reloj interno
    flag=0;
    cont=0;
    setup_port_a( sAN0 | sAN1 | sAN3 );    //configuración de las entradas analogicas
    setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );
    setup_timer_0( RTCC_DIV_1 | RTCC_INTERNAL); //configuración del timer 0
    set_timer0(6);
    clear_interrupt(int_timer0);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    output_low(Transmision);    //inicia con el pin de transmisión en bajo
    while (TRUE)
    {
        // Rutina para realizar el promedio del voltaje de alimentación del cargador, el cual se
almacena cada 1 segundo en un vector de 6 localidades el cual tiene un tiempo total de 6 segundos.
        if (cont1seg==40)    //permite incrementar el contador cada 1 seg.
        {
            cont1seg=0;
            contador_carg++;
            for (c=contador_carg-1; c>0; c--)
                Bufer_carg[c] = Bufer_carg[c-1]; // corrimiento de ADCDVinPuntual a las localidades del
vector
            Bufer_carg[0]= ADCDVinPuntual;
            sumaDVin=0;
            for (c=0; c<contador_carg; c++)
                sumaDVin= sumaDVin + Bufer_carg[c]; //Lectura de cada uno de los datos del vector
            ADCDVinProm=sumaDVin/contador_carg; //Promedio del voltaje de entrada
            if (contador_carg == 6)
                contador_carg=5;
        }
        // Rutina para realizar el promedio de la carga de la batería, el cual se almacena cada 10
segundos en un vector de 16 posiciones el cual tiene un tiempo total de 2.6 minutos.
        if (cont10seg==400)    //permite incrementar el contador cada 10 seg.
        {
            cont10seg=0;
            contador++;
            for (i=contador-1; i>0; i--)
                Bufer_bat[i] = Bufer_bat[i-1]; //corrimiento de ADCDVinPuntual a las localidades del
vector
            Bufer_bat[0]= ADCbatPuntual;
            suma=0;
            for (i=0; i<contador; i++)    //Lectura de cada uno de los datos del vector
                suma= suma + Bufer_bat[i]; //Promedio del voltaje de entrada
            ADCbatProm=suma/contador;
            if (contador == 16)
                contador=15;
            if (ADCbatProm <= 166)    //si esta descargada
            {
                ADCbatProm = 166;
            }
            Bat_Por100 = (ADCbatProm - 166)*3; //conversión a porcentaje

```

```

    Venvio = make8(Bat_Por100,0); //Permite tomar los primeros 8 bits.
  }
  /**
  */
  Resolucion = 12 + (ADCbatProm*74)/100; // Valor mayor a 1 volt al nivel de la batería.

  if (ADCDVinProm < Resolucion) // si la entrada es menor a 12.6 no realizar carga 149
  {
    CT=0;
    output_low (Transmission); //bandera de cargador conectado
  }
  else //está conectado el cargador
  {
    output_high (Transmission); //cargador conectado
    if (Bat_Por100 < 18) //voltaje menor 10.8V = 172 ADC = 18%
    {
      CT=8; // Ciclo de trabajo del 8%
    }
    else
    {
      if (Bat_Por100<78) //voltaje menor 12.1V = 192 ADC = 78%
      {
        CT=28; //Ciclo de trabajo del 28%
      }
      else
      {
        if (Bat_Por100<100) //voltaje menor 12.6V
        {
          CT=31; //Ciclo de trabajo del 31%
        }
        else
        {
          CT=0;
          output_low (Transmission);
        }
      }
    }
  }
  if (input(pin_a3)==1) //si piden porcentaje de batería
  {
    disable_interrupts(global); //deshabilito interrupciones
    output_low (pwm); //apago pwm
    delay_ms(100);
    output_high(Transmission); //Pin de tx en alto
    delay_ms(1000);
    Salida =1; //bateria menor de 100
    If (Venvio>=99)
    {
      Venvio =100; //envió 100%
    }
    putc (Venvio); // envió del porcentaje de batería
    delay_ms (2000);
    enable_interrupts(global); // habilito interrupciones.
  }
}
}
}

```

Figura A Programa para el sistema de carga

5. BIBLIOGRAFÍA.

1. *A Universal Battery Charging Algorithm for Ni-Cd, Ni-MH, SLA, and Li-Ion for Wide Range Voltage in Portable Applications.* **Sung-Yeul Park, Hidekazu Miwa, Brian T. Clark, Danielle S. K. Ditzler, Greg Malone, Neil S. D'souza, and Jih-Sheng Lai.** Virginia : IEEE, 2008.
2. *A Universal Protection Controller For Li-ion Battery Charger.* **Ye Zhihao, Wu Xiaobo† , Sun Yueming, Lu Jiaying.** Hangzhou : IEEE, 2010.
3. *A Modularized Charge Equalizer Using Battery Monitoring IC for Series Connected Li-Ion Battery Strings in an Electric Vehicle.* **Chol-Ho Kim, Moon-Young Kim, Young-Do Kim, and Gun-Woo Moon.** The Shilla Jeju, Korea : ECCE Asia, 2011.
4. *Fuzzy controlled energy converter equalizer for lithium ion battery packs.* **Dorin Cadar, Dorin Petreus, Toma Patarau, Radu Etz.** Torremolinos (Málaga), Spain : IEEE, 2011.
5. *Accurate, Compact, and Power-Efficient Li-Ion Battery Charger Circuit.* **Min Chen, Gabriel A. Rincón-Mora.** 11, s.l. : IEEE, 2006, Vol. 53.
6. *A Design of A Li-ion Battery Duty-Varied Pulse Charger.* **Liang-Rui Chen, Cheng-Chou Huang, Shing-Lih Wu.** Taipei, Taiwan : IEEE, 2007.
7. *New Compact CMOS Li-Ion Battery Charger Using Charge-Pump Technique for Portable Applications.* **Yuh-Shyan Hwang, Shu-Chen Wang, Fong-Cheng Yang, and Jiann-Jong Chen.** 4, s.l. : IEEE, 2007, Vol. 54.
8. *Design of Duty-Varied Voltage Pulse Charger for Improving Li-Ion Battery-Charging Response.* **Chen, Liang-Rui.** Taipei : IEEE, 2009.
9. *A Li-ion Battery Charging Design for Biomedical Implants.* **Chi-Chun Huang, Shou-Fu Yen, and Chua-Chin Wang.** Taiwan : IEEE, 2008.
10. *Fast Charging Technique for Li-Ion Battery Charger.* **Chia-Hsiang Lin, Chi-Lin Chen, Yu-Huei Lee, Shih-Jung Wang, Chun-Yu Hsieh, Hong-Wei Huang, and Ke-Horng Chen.** Taiwan : IEEE, 2008.

11. *Fuzzy-Control-Based Five-Step Li-Ion Battery Charger*. **Jia-Wei Huang, Yi-Hua Liu, Shun-Chung Wang, Zong-Zhen Yang**. Taipei : IEEE, 2009.
12. *A new pulse charging methodology for lead acid batteries*. **J J A Wilkinson, BE (Hons), MEG A Covic, BE (Hons), PhD, MIEEE, MIPENZ (Grad)**. 1, EMCh : s.n., 1998, IPENZ Transactions, Vol. 25, págs. 1-16.
13. **Trojan Battery**. *Comparison of Tubular and Flat Plate*. s.l. : Trojan, 2008.
14. *LEAD-ACID BATTERY STORAGE*. **CÉSAR A.C. SEQUEIRA, MÁRIO R. PEDRO**. 1/2, Lisboa, Portugal. : C. A. C. Sequeira et al, 2007, Vol. 9.
15. *A COST EFFECTIVE ULTRA FAST Ni-Cd BATTERY CHARGER*. **L. Wuidart, J.M. Ravon**. U.S.A. : STMicroelectronics, 1999.
16. *AVR450: Battery Charger for SLA, NiCd, NiMH*. **Corporation, Atmel**. 2006.
17. *Fuzzy-Controlled Active State-of-Charge Controller for Fastening the Charging Behavior of Li-ion Battery*. **Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen, and Kuo-Shun Huang**. Taipei, Taiwan : IEEE, 1999.
18. *DESIGN OF HIGH ENERGY LITHIUM-ION BATTERY CHARGER*. **M.F.M. Elias, A.K. Arof, K.M. Nor**. Brisbane, Australia : s.n., 2004.
19. —. **M.F.M. Elias, A.K. Arof, K.M. Nor**. Brisbane, Australia : Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC 2004), 2004.
20. *Battery Arrays, Rechargeable Li-ion Battery Power Sources for Marine Applications*. **Crowell, Jon**.
21. **SBI Energy White Paper**. *Advanced Storage Battery Market: From Hybrid/Electric Vehicles to Cell Phones*. Rockville, Maryland : s.n., 2009.
22. **Texas Instruments**. *Using NiMH and Li-Ion*. s.l. : Texas Instruments Incorporated, 1999.

23. *Fuzzy-Controlled Active State-of-Charge Controller for Fastening the Charging Behavior of Li-ion Battery*. **Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen, and Kuo-Shun Huang**. Taipei, Taiwan : IEEE, 1999.

24. **CÉSAR A.C. SEQUEIRA¹, M. R.** *LEAD-ACID BATTERY STORAGE*. *Ciencia y Tecnología de los Materiais*. 2007.

25. **Enalmex**. [En línea] [Citado el: 21 de Mayo de 2011.] <http://www.enalmex.com/docpdf/libro/ch06.pdf.pdf>.

26. **SIDEI INGENIEROS LTDA**. *Lead Acid Battery Technologies*. Santiago : s.n.

27. **Battery Unoversity**. Battery Unoversity. [En línea] [Citado el: 8 de Junio de 2011.] <http://batteryuniversity.com>.

28. **EXIDE BATTERIES**. Exide. [En línea] [Citado el: 5 de Junio de 2011.] <http://www.exide.com.mx>.

29. **Farrás, Juan Guasch**. siafa. [En línea] [Citado el: 30 de Mayo de 2011.] <http://www.siafa.com.ar/notas/nota117/baterias.htm>.

30. *Using NiMH and Li-Ion* . **BENCHMARK**. 1995.

31. **Dr. Juan R. Collet Lacoste, Dr. Alberto Lamagna**. [En línea] [Citado el: 31 de Mayo de 2011.] http://www.mincyt.gov.ar/multimedia/archivo/archivos/Jujuy_Collet_Lamagna_Litio.pdf.

32. **Carrasco, Ismael Simón**. [En línea] [Citado el: 31 de Mayo de 2011.] <http://es.scribd.com/doc/22631266/BATERIAS-DE-LITIO>.

33. **RC MATERIAL**. RC MATERIAL. [En línea] [Citado el: 8 de Junio de 2011.] www.RCmaterial.com.

34. **Wave, Sky**. *TERMINAL DMR-800D DE COMUNICACIÓN SATELITAL*. Canadá. : SkyWave Mobile Communications Inc, 2009.

35. **José R. Atoche Enseñat, José Benito Góngora Ku, Jesús Sandoval Gio, Carlos A. Luján Ramírez, Alejandro A. Castillo Atoche.** *Selección En Tecnología De Baterías Para Alimentación De Dispositivos Electrónicos Portátiles.* Mérida : S.N., 2011.

36. *A Study of Lead-Acid BAttery efficiency Near Top-of-Charge and the Impact on PV System Design.* **John, Stevens y Corey, Garth P.**

37. *A New pulse charging methodology for lead acid batteries.* **J, Wilkinson y A, Covic.** 1998, IPENZ Transactions.

38. **Trojan Battery Company.** *Comparison of Tubular and Flat Plate Lead Acid Battery Technologies.* 2008.