

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CARGADOR DE BATERÍAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Arrieta P., Simón José A.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CARGADOR DE BATERÍAS

Tutor Académico: Ing. Pedro Pinto

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Arrieta P., Simón José A.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.

Caracas, 16 de mayo de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Concejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Simón J. Arrieta P.:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CARGADOR DE BATERÍAS”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero electricista en la mención de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Rafael Rivero

Jurado




Prof. Servando Álvarez

Jurado


Prof. Pedro Pinto
Tutor académico

DEDICATORIA

A mis Padres José Arrieta y Reina de Arrieta.

A mis Hermanos Irina Arrieta y Alexei Arrieta.

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres por su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado.

Al Profesor Pedro Pinto, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto.

Al Profesor Servando Álvarez, por toda la ayuda y recomendaciones brindadas.

A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica que colaboraron en mi formación como profesional.

A mis amigos Dany Abreu, Anibal Montaña, Mario D'Anniballe y a tantos otros que no menciono pero que siempre estuvieron cerca brindando apoyo y haciendo el transitar por la escuela algo que jamas olvidaré.

A todas esas personas que colaboraron directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

Arrieta P., Simón José A.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CARGADOR DE BATERÍAS

Tutor académico: Ing. Pedro Pinto. Tesis. Caracas. U.C.V.. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. 2007. 73 p + anexos.

Palabras claves: Cargador Solar; Carga de baterías; Sistema Fotovoltaico; Baterías; Baterías de plomo-ácido, Panel solar.

Resumen. Los sistemas fotovoltaicos requieren de tres elementos básicos para su funcionamiento: Paneles solares, baterías y un cargador de baterías o regulador de carga. Se plantea el diseño y construcción de un cargador de baterías para aplicaciones solares basándose en las características de carga mas adecuadas para distintas tecnologías de construcción de baterías de plomo-ácido y aprovechándose de las características constructivas de los paneles solares. El equipo diseñado es capaz de cargar baterías de plomo-ácido de tecnologías como tubular abierta, gel, AGM y SLI o automotrices, dependiendo de la tecnología seleccionada puede determinar si las condiciones del sistema son adecuadas para realizar la carga de las baterías o si las baterías se encuentran en condiciones de suministrar energía a alguna aplicación. El equipo fue instalado en un sistema fotovoltaico en la Escuela de Ingeniería Eléctrica donde se realizaron los estudios de funcionamiento y verificaciones.

INDICE GENERAL

CONTANCIA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
INDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xi
LISTADO DE ACRONIMOS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPITULO II DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	6
2.1 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.1 Sistema Fotovoltaico.....	6
2.1.2 Panel Fotovoltaico.....	7
2.1.3 Célula fotoeléctrica:.....	10
2.1.4 Baterías o acumuladores:.....	11
2.1.5 Batería de plomo-ácido.....	13
2.1.6 Características de carga y descarga.....	17
2.1.7 Cargador de batería:.....	21
2.1.8 Métodos de carga:.....	22
CAPITULO III DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	24
3.1 DEFINICIÓN DEL HARDWARE.....	24
3.1.1 Etapa de potencia.....	25
3.1.2 Etapa de control.....	25

3.1.3 Interfaces.....	28
3.2 DEFINICIÓN DEL SOFTWARE.....	28
3.3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE.....	29
3.3.1 Etapa de potencia.....	29
3.3.2 Etapa de control.....	36
3.3.2.1 Canales ADC.....	38
3.3.2.2 Entradas Digitales.....	39
3.3.2.3 Puertos de salida.....	40
3.3.2.4 Puertos de interfaces.....	41
3.3.2.5 Opción Puerto de comunicación serial.....	41
3.3.3 Interfaces.....	41
3.3.3.1 Indicadores LEDs y Teclado.....	41
3.3.3.2 Indicador de polaridad inversa.....	42
3.3.4 Diseño de caja.....	43
3.4 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	44
3.4.1 Máquina de estados.....	44
3.4.2 Rutina de selección de batería.....	49
3.4.2 Rutina de medición y actualización de datos.....	50
3.4.4 Rutina interfaz LEDs.....	52
3.4.5 Rutina interfaz pantalla.....	53
3.4.6 Rutina interfaz teclado.....	54
3.4.8 Rutina ajuste de parámetros por temperatura.....	55
CAPITULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS.....	56
3.1 PRUEBAS DE MEDICIÓN Y FUNCIONALES.....	56
3.1.1 Pruebas iniciales.....	56
3.1.2 Pruebas de medición.	57
3.1.2.1 Canal 0 : Vbat.....	57
3.1.2.2 Canal 1 y 2 : Ipanel e Icarga.....	58
3.1.2.3 Temperatura.....	61
3.1.3 Corriente de consumo.....	63

3.1.4 Prueba de cortocircuito y sobrecarga.....	63
3.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN.....	64
3.3 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.....	68
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema fotovoltaico para corriente directa.....	6
Figura 2: Sistema fotovoltaico para corriente alterna.....	7
Figura 3: Gráfico I/V y P/V de un panel para distintas condiciones de luz.....	8
Figura 4: Modelo eléctrico del panel fotovoltaico.....	9
Figura 5: Estructura de una celda fotoeléctrica de silicio.....	10
Figura 6: Elementos de un Acumulador. 1- Placas positivas. 2- Placas negativas. 3- Conexiones entre placas. 4- Recipiente. 5- Separadores.....	14
Figura 7: Placas del Acumulador de plomo-ácido: 1- Alvéolos sin materia activa. 2- Alvéolos con materia activa. 3- Soporte inactivo.....	15
Figura 8: Tensión de una celda para una carga a corriente constante.....	18
Figura 9: Tensión de una celda para una descarga a corriente constante.....	19
Figura 10: Vida en ciclos de una celda contra profundidad de descarga.....	20
Figura 11: Vida de servicio de una celda contra temperatura de trabajo.....	20
Figura 12: Perfil de Carga para baterías de plomo-ácido.....	23
Figura 13: Diagrama de bloques del equipo.....	25
Figura 14: Diagrama de bloques de la etapa de potencia.....	30
Figura 15: Diagrama esquemático de la tarjeta de potencia.....	31
Figura 16: Topología de conexión de Q1 y Q2.....	31
Figura 17: Perfil del disipador de calor.....	35
Figura 18: Diagrama de bloques de la tarjeta de control.....	36
Figura 19: Diagrama esquemático de la tarjeta de control.....	38
Figura 20: Detalle circuito amplificador para medición de corriente.....	39
Figura 21: Diagrama esquemático de la tarjeta de LEDs y Teclado.....	43
Figura 22: Diagrama esquemático de la tarjeta indicadora de polaridad inversa.....	44
Figura 23: Plano de diseño de la caja.....	44
Figura 24: Diagrama de Maquina de estados.....	46
Figura 25: Diagrama de flujo de la rutina actualización y captura.....	52

Figura 26: Diagrama del ciclo de muestras de pantalla.....	54
Figura 27: Diagrama de flujo de la rutina pantalla.....	55
Figura 28: Gráfico de rango de compensación de voltaje según temperatura.....	56
Figura 29: Gráfico de prueba de medición de Vbat.....	59
Figura 30: Gráfico de prueba de medición de Igen.....	61
Figura 31: Gráfico de prueba de medición de Icon.....	61
Figura 32: Gráfico de pruebas de medición Temp.....	63
Figura 33: Gráfico de pruebas de funcionamiento 28-04-2011.....	66
Figura 34: Gráfico de pruebas de funcionamiento 29-04-2011.....	67
Figura 35: Gráfico de pruebas de funcionamiento fin de carga.....	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rango de variación y resolución de parámetros	27
Tabla 2 Tensiones de operación recomendadas para distintos tipos de baterías (por celda).....	50
Tabla 3 Tensiones de operación seleccionadas para distintos tipos de baterías (arreglos de 12V nominal).....	51
Tabla 4: Código de los indicadores LEDs.....	53
Tabla 5 Pruebas de medición en el Canal 0 (Vbat).....	58
Tabla 6 Pruebas de medición en el Canal 1 y Canal 2 (Igen e Icon).....	60
Tabla 7: Pruebas de medición en Canal 3 (Temp).....	63
Tabla 8 Consumo de corriente propia del equipo.....	64
Tabla 9 Especificaciones técnicas del equipo.....	69

LISTADO DE ACRONIMOS

AGM: Absorbed Glass Mat
CA: Corriente Alterna
CC: Corriente Continua
CCP: Capture, Compare, PWM
FV: Fotovoltaico
I/V: Corriente vs Voltaje
LCD: Liquid Crystal Display
LED: Light Emitting Diode
PV: Photovoltaic
P/V: Potencia vs Voltaje
PCB: Printed Circuit Board
PWM: Pulse Width Modulation
SLA: Sealed Lead Acid
SLI: Start Light Ignition
STC: Standard testing conditions
UPS: Uninterruptible Power System
VRLA: Valve Regulated Lead Acid

INTRODUCCIÓN

Vivimos en un planeta donde el consumo energético es cada vez mayor, y gran parte de esa energía es producida a partir de recursos no renovables y contaminantes en su mayoría. Es una necesidad la búsqueda y desarrollo de energías limpias y renovables que sustituyan los métodos de generación nocivos actuales.

Actualmente, existe parte de la población mundial que no tiene acceso a la energía eléctrica, y los beneficios que esta representa. Beneficios tales como iluminación y refrigeración, lo que se traduce en problemas como inseguridad, incapacidad de almacenamiento de alimentos, diseminación de enfermedades e incomunicación.

Los Sistemas Fotovoltaicos permiten el uso de una energía limpia y renovable, el Sol. Tienen la ventaja de poder instalarse prácticamente en cualquier lugar donde exista buena radiación solar, lo que significa una solución energética para las poblaciones alejadas que no gozan del servicio eléctrico.

La energía solar también puede ser usada en la ciudad como sistema alternativo al existente, lo que permitiría reducir la carga al sistema eléctrico convencional, traduciéndose en ahorro energético, y permitiría tener un respaldo en caso de fallas durante el día, o la noche cuando la energía generada es almacenada en baterías.

Un sistema fotovoltaico está compuesto por cuatro elementos básicos, los paneles o generadores solares, las baterías donde se almacena la energía, un controlador de carga o cargador de baterías y dependiendo de la aplicación un inversor.

En este trabajo se plantea el diseño y construcción del cargador de baterías, uno de los elementos constituyentes de un sistema fotovoltaico. Este equipo es el encargado de controlar el almacenaje de energía generada por paneles fotovoltaicos o solares en bancos de baterías, tomar decisiones de cómo o cuándo almacenar y también de entregar energía almacenada a una carga cuidando en lo posible la vida útil del banco de baterías y su buen estado de funcionamiento.

El equipo determina si el banco de baterías está en condiciones de recibir energía, y si está en condiciones de entregar la energía almacenada.

Además se presenta por medio de una pantalla y unos indicadores luminosos el estado del sistema, las condiciones de generación y consumo del sistema y es capaz de determinar y alertar de posibles problemas que se presenten en el sistema.

En el Capítulo I de este trabajo se presenta la descripción del proyectos y los los objetivos propuestos para su realización.

En el Capítulo II se presentan la descripción del sistema necesario para la comprensión del desarrollo del proyecto. En éste se describen de manera breve los dispositivos que componen los sistemas fotovoltaicos y algunas de sus características, los conceptos y métodos que se tomaron en cuenta en el diseño y construcción del equipo.

El Capítulo III se definen las características del hardware y software del equipo, los cálculos que necesarios para su desarrollo y por ultimo una descripción de las etapas que componen el equipo y el software desarrollado.

En el Capítulo IV se presentan las pruebas que fueron hechas al equipo para determinar los ajustes necesarios y corroborar el correcto funcionamiento del mismo.

CAPITULO I DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Energía eléctrica es usada a diario y muchas veces pasa desapercibida. El uso de esta energía se ha hecho indispensable para la población en general, debido a que gran parte de los instrumentos o herramientas y equipos domésticos que usamos la requieren.

La electricidad ha convertido la noche en una extensión del día, y nos ha permitido crear equipos que salvan nuestras vidas, mantienen nuestros alimentos y nos permite comunicarnos, por eso su ausencia no programada puede representar grandes problemas y riesgos para la población.

La generación y distribución de energía eléctrica se ha hecho de la misma forma por muchas décadas, donde dependemos de recursos naturales como ríos o combustibles fósiles para generar, que son afectados por fenómenos meteorológicos o son contaminantes para el medio, y donde la distribución se lleva acabo por grandes sistemas interconectados, lo que hace que sea difícil el suministrar a lugares lejanos de los centros de distribución.

Contar con un fuente de energía que sea confiable, alternativa e independiente a las fuentes regulares, representa una ventaja al momento de una falla, y al momento ser instalado en zonas donde las fuentes regulares no tienen acceso. Esto permitiría gozar de los beneficios de la electricidad a comunidades que han sido privadas de este servicio por no ser económicamente viable o simplemente el acceso es muy difícil.

Los sistemas que usan acumuladores o baterías, como los sistemas fotovoltaicos, permiten tener almacenada energía para ser usada cuando sea requerida, lo que significa tener un respaldo en caso de falla. Estos sistemas están compuestos por los paneles solares, los bancos de baterías, inversores y cargadores de baterías.

El cargador de batería es el encargado de controlar esa energía almacenada en los acumuladores, cuidando como se cargan y hasta donde deben ser cargados. Existen equipos inversores que ya poseen un cargador, pero pueden representar un problema debido a que eleva los costos y en caso de avería hay que sustituir el equipo completo. Estos equipos son actualmente fabricados en nuestro país por empresas como AVTEK buscando llenar el espacio de mercado, ya que su importación puede hacer su adquisición mas difícil.

La fabricación nacional de los equipos para sistemas fotovoltaicos representarían una disminución en los costos de los mismos y mayor presencia en el mercado, aumentando la implementación de estos sistemas y disminuyendo tanto la dependencia tecnológica como la dependencia energética en los sistemas hidroeléctricos y de combustible fósil.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Construir cargador de baterías para paneles solares de 12V_{DC} nominal y 30 A máximo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el tipo de batería que se va a cargar.
- Definir el tipo de alimentación del cargador.
- Definir método de carga de la baterías seleccionadas.
- Diseñar el circuito de potencia que maneje 12V_{DC} y 30 A en la generación y consumo.
- Diseñar el circuito de control del cargador de baterías.
- Diseñar el circuito de protección del cargador de baterías para sobrecargas de máximo 25% la corriente nominal.
- Diseñar el circuito de interfaz de usuario del equipo.
- Diseñar la caja y herrajes del equipo convertidor.
- Realizar los ensayos de laboratorio al equipo.
- Elaborar el manual de usuario del cargador de baterías.

CAPITULO II DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico o sistema de generación solar, es un conjunto de elementos encargados de convertir la luz en energía eléctrica, puede almacenarla y acondicionarla para alguna aplicación específica dependiendo de las necesidades.

Estos sistemas están generalmente comprendidos por los siguientes componentes: arreglos de paneles fotovoltaicos, arreglos de baterías o acumuladores, controladores de carga o cargadores, inversores o acondicionadores de energía eléctrica, y la carga o aplicación.

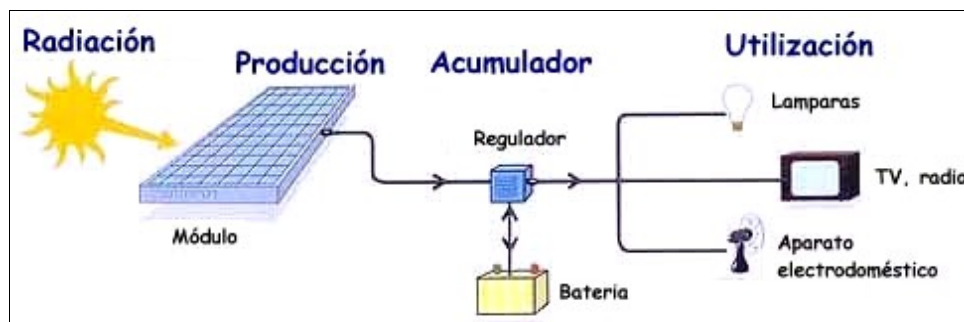


Figura 1: Sistema fotovoltaico para corriente directa

Fuente: <http://saecsaenergiasolar.com>

Dependiendo de la aplicación pueden ser o no usados los acondicionadores de electricidad como los inversores, pudiendo tener sistemas que alimentan en corriente continua (C.C.) sin la necesidad de un inversor, como se muestra en la figura 1, o sistemas que alimentan en corriente alterna (C.A.) que es la mas común en los hogares y usada por gran variedad de equipos domésticos, como se muestra en la

figura 2. También es posible un sistema mixto el cual utiliza tanto corriente continua como corriente alterna.

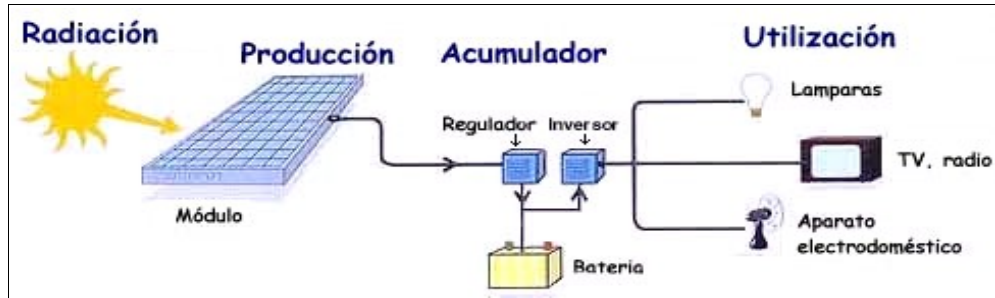


Figura 2: Sistema fotovoltaico para corriente alterna.

Fuente: <http://saecsaenergiasolar.com>

2.1.2 Panel Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico o panel solar es una agrupación de celdas fotoeléctricas conectadas para lograr unas características eléctricas específicas y encapsuladas para su protección en intemperie.

El grupo de parámetros que definen las especificaciones eléctricas de un panel bajo unas condiciones de ensayo normalizadas son las siguientes:

- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): Es la tensión vista en los terminales del panel cuando no posee ninguna carga.
- Corriente de corto circuito (I_{sc}): Es la corriente que circula a través de un cortocircuito en los terminales del panel.
- Potencia máxima (P_{max}): Es la potencia máxima que puede entregar el panel.
- Tensión de potencia máxima (V_{mp}): Es la tensión de los terminales cuando el panel entrega su potencia máxima.
- Corriente de potencia máxima (I_{mp}): Es la corriente que circula cuando el panel entrega la potencia máxima.

Las especificaciones anteriores son obtenidas bajo las siguientes condiciones reguladas bajo la norma IEC 60904 “Dispositivos Fotovoltaicos (Photovoltaic devices)” en sus secciones IEC 60904-1 “Medición de características fotovoltaicas corriente-voltaje (Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics)” y IEC 60904-3 “Principios de medición para dispositivos solares fotovoltaicos (PV) terrestres con datos de radiación espectral de referencia (Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data)” :

- Radiación (irradiance): 1000 W/m²
- Temperatura de Celda: 25 °C
- Masa del aire: 1.5

Las normas pueden ser adquiridas a través de la pagina <http://webstore.iec.ch> y se encuentran disponibles la vistas previas del contenido de los documentos.

Estos parámetros definen curvas I/V y de P/V que explican el comportamiento del panel bajo distintas condiciones de ensayo, como se muestra en la figura 3:

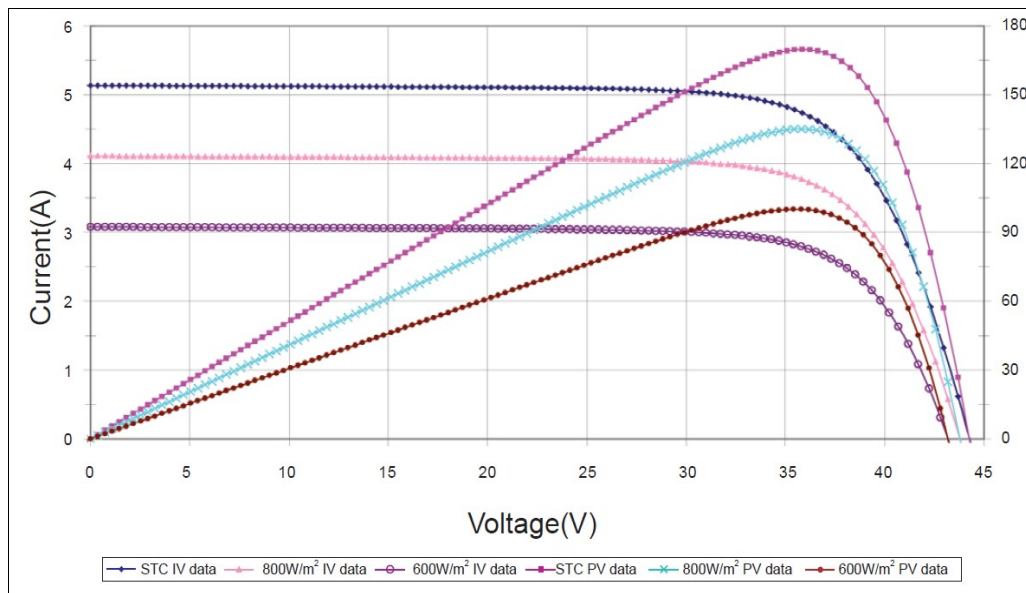


Figura 3: Gráfico I/V y P/V de un panel para distintas condiciones de luz.

Fuente: Hoja de características técnicas de modulo PV STP107S-24/Ab-1 Marca Suntech

Las curvas de corriente y potencia en función de la tensión mostradas en la figura 3 están agrupadas en dos familias, una familia corresponde al comportamiento I/V del del panel, y la segunda familia corresponde al comportamiento P/V. Las curvas generadas son el resultado de variaciones en la radiación lumínica sobre el panel, comenzando desde STC (Standard testing conditions) o 1000 W/m^2 y decreciendo para 800 W/m^2 y 600 W/m^2 .

Estas gráficas permiten definir un modelo del panel para un punto o un rango de operación. El modelo que mejor se ajusta para un rango de tensiones por debajo de la tensión optima (V_{pm}), es una fuente de corriente dependiente de la luz que se irradia en el panel.

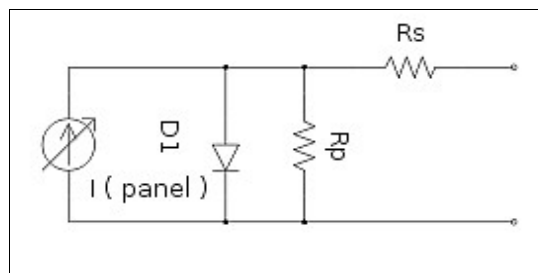


Figura 4: Modelo eléctrico del panel fotovoltaico.

En la figura 4 se encuentra representado el modelo que mejor se ajusta a las características de funcionamiento del un panel fotovoltaico. La resistencia R_s representan las pérdidas internas de conversión propias del panel. La resistencia R_p y el diodo $D1$ aparece por características de construcción de las celdas que componen el panel cuando este se encuentra en condiciones de obscuridad y se polariza con una fuente externa, y por último la fuente de corriente $I(\text{panel})$ que depende de las condiciones de luz.

Para una celda de silicio monocristalino los valores típicos de R_s y R_p son aproximadamente $1,33\Omega$ y 750Ω respectivamente [1].

2.1.3 Célula fotoeléctrica:

Son dispositivos semiconductores capaces de producir una corriente eléctrica a partir de radiación lumínica. El fenómeno es conocido como efecto fotoeléctrico, donde la energía absorbida por un material en forma de radiación lumínica produce un desplazamiento de electrones generando una diferencia de potencial en el mismo.

En un semiconductor, los fotones son absorbidos por una capa de material tipo N, esto produce un desplazamiento de electrones hacia la capa de material tipo P, lo que produce una diferencia de potencial entre ellas. En la figura 5 se muestra la estructura típica de construcción de una celda. Si se cierra el circuito entre las capas semiconductoras circulara una corriente eléctrica.

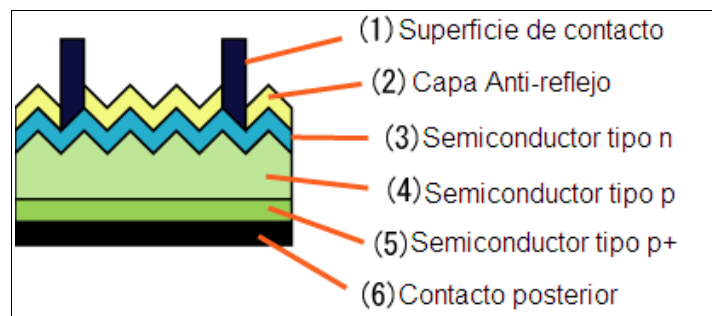


Figura 5: Estructura de una celda fotoeléctrica de silicio.

Fuente:Wikimedia Commons, licencia libre al dominio publico. Modificaciones: Propias

En la actualidad comercialmente la fabricación mas común para aplicaciones terrestres (85% de la fabricación mundial para el 2007) [2] es de los siguientes tipos:

- Silicio mono-cristalino: El silicio altamente purificado enfriado en bloques puede formar cristales de grandes dimensiones, la célula es cortada de un bloque en delgadas capas, tiene una eficiencia (14- 16%) [2] pero su costo es elevado.

- Silicio multicristalino: en la producción el silicio se solidifica en múltiples cristales, la obtención de la célula es de la misma forma que para el monocristalino pero su eficiencia es menor en comparación (12-14%)[2] y su producción es menos costosa.
- Silicio amorfo: Se produce a partir de silicio hidrogenado (estado no cristalino) depositado en una lamina de vidrio. Su eficiencia es menor que las células monocristalinas (5-7%)[2]. De color gris oscuro, son las que comúnmente se encuentran en calculadoras, relojes etc.[2]

2.1.4 Baterías o acumuladores:

De acuerdo con la bibliografía de habla inglesa, existen dos tipos de baterías, las baterías primarias denominadas pilas en la bibliografía en español, y las secundarias denominadas acumuladores, baterías recargables o simplemente baterías. Aunque el término batería o pila engloba ambos tipos, la costumbre ha llevado a distinguirlas.

A diferencia de las pilas, que sólo pueden generar energía a través de un proceso electroquímico no reversible (cuando se agotan los reactivos se deja de generar energía), las baterías pueden almacenar energía debido a que los procesos electroquímicos que se llevan a cabo en su interior son eléctricamente reversibles.

Los parámetros que definen las características de una batería son:

- Tensión nominal: Es la tensión en los terminales de una celda que define su proceso electroquímico específico, cada tecnología tiene una tensión de celda definida.

- Capacidad: Se define como la cantidad de energía eléctrica que puede almacenar la batería, se puede expresar en *Coulomb*, pero es una unidad pequeña y resulta poco practica, suele representarse con otra unidad denominada *ampere-hora*. La equivalencia viene dada por :

$$1 \text{ ampere-hora [Ah]} = 3600 \text{ Coulomb.}$$

En los acumuladores, la capacidad expresada en ampere-hora es igual al producto de la intensidad de descarga por el tiempo de duración de dicha descarga expresado en horas.

- Intensidad de carga y descarga: Están ligadas al tiempo de carga o descarga y a la capacidad de la batería. Estas corrientes están suministradas por el fabricante para un tipo de batería, y definen los regímenes o comportamientos de la misma en distintas situaciones de prueba.

Existen en el mercado una gran variedad de tecnologías de construcción de acumuladores, y cada vez se realizan nuevos avances y nuevos desarrollos en el campo. Las tecnologías mas conocidas son las de Plomo-ácido, Níquel-Cadmio (Ni-Cd), Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH) y mas recientes las de ion de litio (Li-ion) y polímero de ion de litio o polímero de litio (Li-Po).

La tecnología más antigua es la de Plomo-ácido, comparadas con las otras mencionadas, posee menor densidad de energía, son mas sensibles a altas o bajas temperaturas y a condiciones de descarga profunda, sin embargo, son las de fabricación menos costosa, su tecnología es la mejor comprendida y su construcción es relativamente simple.

Para aplicaciones del tipo de sistemas fotovoltaicos son preferidas las tecnologías de plomo-ácido debido a su coste y facilidad de construcción. Dentro de la familias de plomo-ácido se han desarrollado subfamilias especialmente diseñadas

para aplicaciones estacionarias (una vez instaladas no se mueven del lugar durante su uso), buscando mayor capacidad y mayor periodo de vida de las mismas.

2.1.5 Batería de plomo-ácido

La construcción del primer acumulador se le atribuye a Gaston Planté¹, en 1858. Este consistía de dos laminas de plomo arrolladas, separadas entre si con laminas de caucho, y sumergidas en un electrólito de ácido sulfúrico diluido dentro de un recipiente aislante, estas placas formarían los polos del acumulador.

Con el tiempo se realizaron mejoras, como recubrir los electrodos con una capa de oxido de plomo para acelerar los procesos de carga y descarga. La construcción básica de los acumuladores de plomo-ácido se mantiene prácticamente sin modificaciones hasta nuestros días.

Un acumulador plomo-ácido está construido como se muestra en la Figura 6 por los siguientes elementos: Placas positivas, en la figura con el numero (1), placas negativas (2), estas se encuentran agrupadas a través de las conexiones entre placas (3), y todo esto se encuentra sumergido en el electrólito dentro del Recipiente (4). En el fondo se colocan aislantes o separadores (5) para evitar que las placas entren en contacto con el fondo y los posibles depósitos o sedimentos. [3]

¹ Gaston Planté (1834-1889) : Físico Francés que inventó el acumulador de plomo-ácido siendo esta la primera batería recargable. En 1854, comenzó a trabajar como profesor asistente en el Conservatorio de Artes y Oficios en París, y en 1860 asciende a Profesor de Física en la Asociación Politécnica para el Desarrollo de la Instrucción Popular.

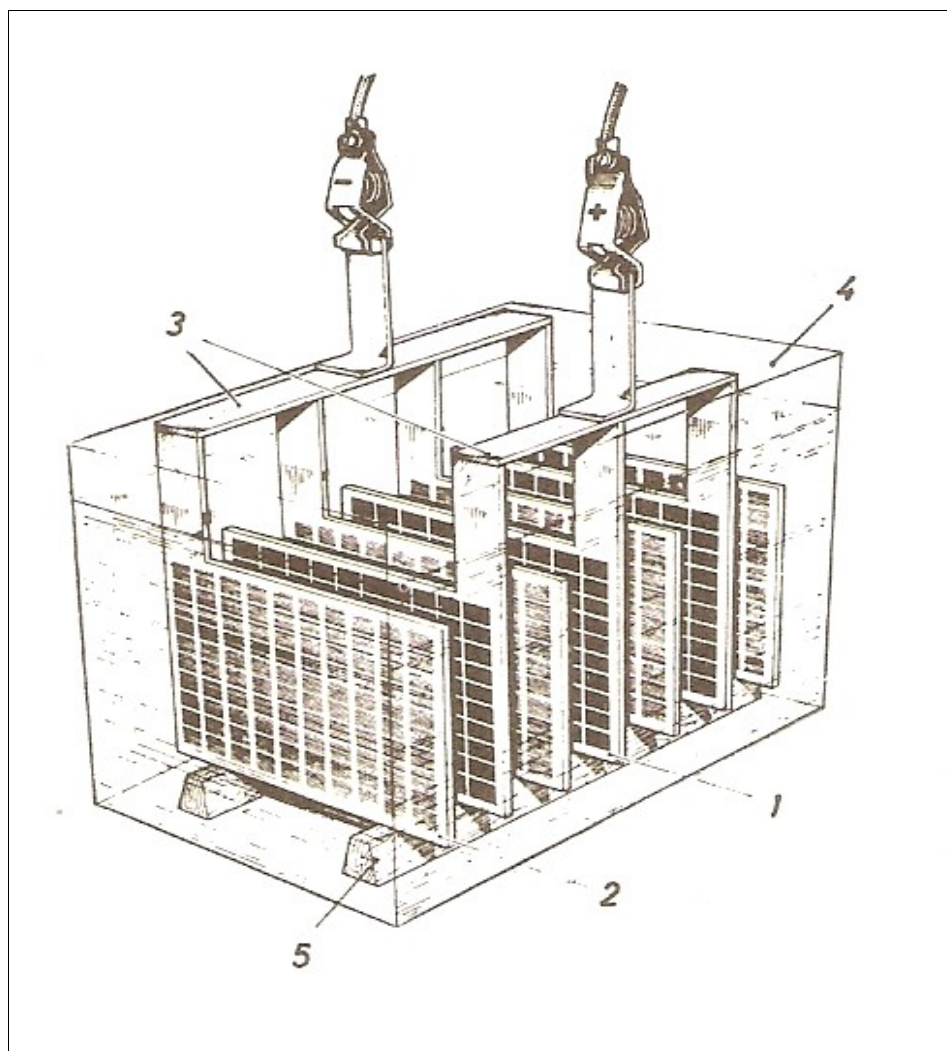


Figura 6: Elementos de un Acumulador. 1- Placas positivas. 2- Placas negativas. 3- Conexiones entre placas. 4- Recipiente. 5- Separadores.

Fuente: Pilas y acumuladores maquinas de corriente continua; Ramírez Vázquez, José. Ediciones CEAC s.a.

Las placas son construidas de plomo o de una aleación con antimonio o calcio, y tienen forma de rejilla o panal como se muestra en la Figura 7, un detalle de la construcción de muestra en el dibujo (3), estos alvéolos que se forman en la rejilla (1) son rellenados con una mezcla de oxido de plomo, ácido, agua y un aglomerante (2).

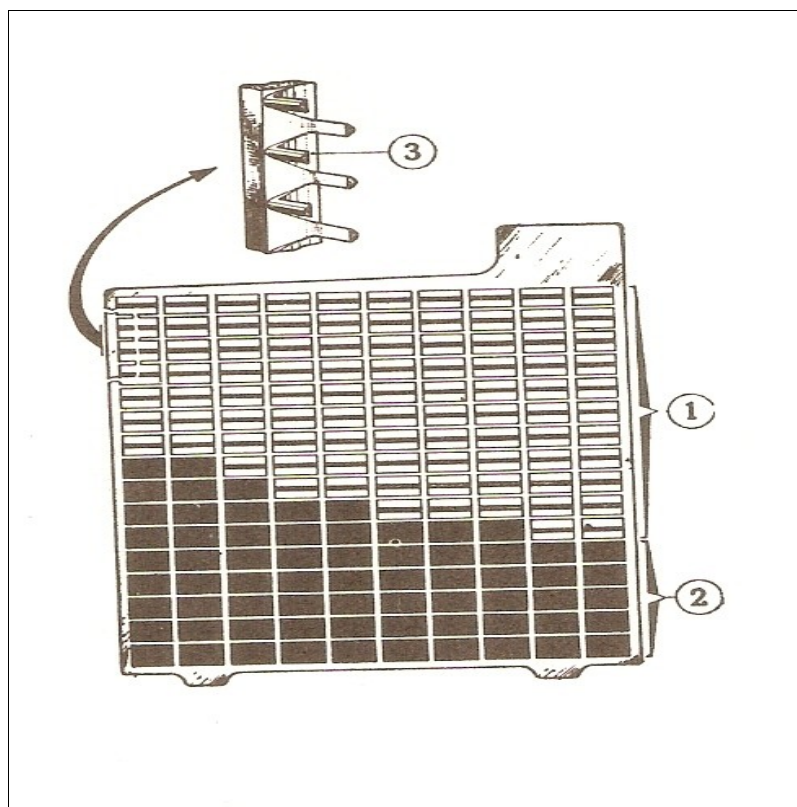


Figura 7: Placas del Acumulador de plomo-ácido: 1- Alvéolos sin materia activa. 2- Alvéolos con materia activa. 3- Soporte inactivo.

Fuente: Pilas y acumuladores maquinas de corriente continua; Ramírez Vázquez, José. Ediciones CEAC s.a.

Dependiendo de la aplicación para la que se diseñen, los acumuladores adquieren características especiales, que las dividen en subfamilias. A continuación se describen como se clasifican y algunas de sus características distintivas:

Clasificación por construcción:

- Ventiladas: También conocidas como abiertas, poseen aberturas que permiten la revisión y mantenimiento del electrólito, y permiten el flujo de aire desde y hacia su interior, permitiendo la liberación de gases en su funcionamiento. El electrólito es liquido.

- SLA (sealed lead-acid): Plomo-ácido selladas, estas se encuentran totalmente selladas para evitar el derrame de electrolito y la liberación de gases o vapores.
- VRLA (valve regulated lead-acid) Plomo-ácido regulado por válvula. También son un tipo de SLA, pero poseen una válvula que permite la liberación de gases cuando el nivel de presión interior aumenta. Tanto las SLA como las VRLA se conocen comúnmente como “libres de mantenimiento” debido a que los gases que se liberan en el proceso de carga y descarga se recombinan en el interior y evitan la pérdida de agua.

Las baterías VRLA se pueden separar en dos grupos de fabricación común:

- AGM (absorbed glass mat): Los separadores son capas de fibra de vidrio que absorben el electrolito líquido, lo que evita que el líquido se derrame y haciendo a este tipo de batería resistente a vibraciones.
- Gel Cell (celda de gel): El electrolito líquido es mezclado con agentes como Humo de silicio, que lo transforman en gel. El gel reduce la pérdida de agua por evaporación y evita el derrame del mismo, también mejora la resistencia a vibraciones.

Clasificación por Uso:

- Ciclo Profundo: Son diseñadas para que los ciclos de descarga afecten en menor medida su vida útil, esto puede sacrificar los picos de corriente que pueden entregar pero permiten las descargas frecuentes sin dañarse. Son comúnmente usadas en sistemas fotovoltaicos y sistemas de respaldo de energía (UPS) .

- De Tracción: Son diseñadas buscando un compromiso entre vida útil y corriente pico entregada. Se llaman de tracción por ser usadas en vehículos eléctricos como carros de golf, montacargas, sillas de rueda etc.
- SLI: (start, light, ignition): Conocidas como baterías de carro o automotrices. Están diseñadas para entregar picos de corrientes para el arranque del motor del vehículo, por lo que son susceptibles a descargas profundas ocasionando su daño prematuro.

2.1.6 Características de carga y descarga

Las celdas de una batería de plomo-ácido poseen una tensión nominal de 2 V, esto quiere decir que la tensión de cada celda variará alrededor de este valor dependiendo de sus condiciones de carga. La agrupación en serie de un número de celdas definen las tensiones nominales de las baterías comerciales.

En la Figura 8 se muestra la variación de la tensión en los terminales de una celda a la que se le aplica una carga de 3 horas. Una celda totalmente descargada presentará una tensión en sus terminales de unos 1,8 V en vacío, al comenzar el ciclo de carga esta tensión se elevará rápidamente a 2 V y se mantendrá durante toda la carga. Al acercarse a la culminación de la carga la tensión del elemento aumenta a 2,2 V y luego lentamente a 2,4 V, y finalmente aumenta bruscamente a 2,73 V.

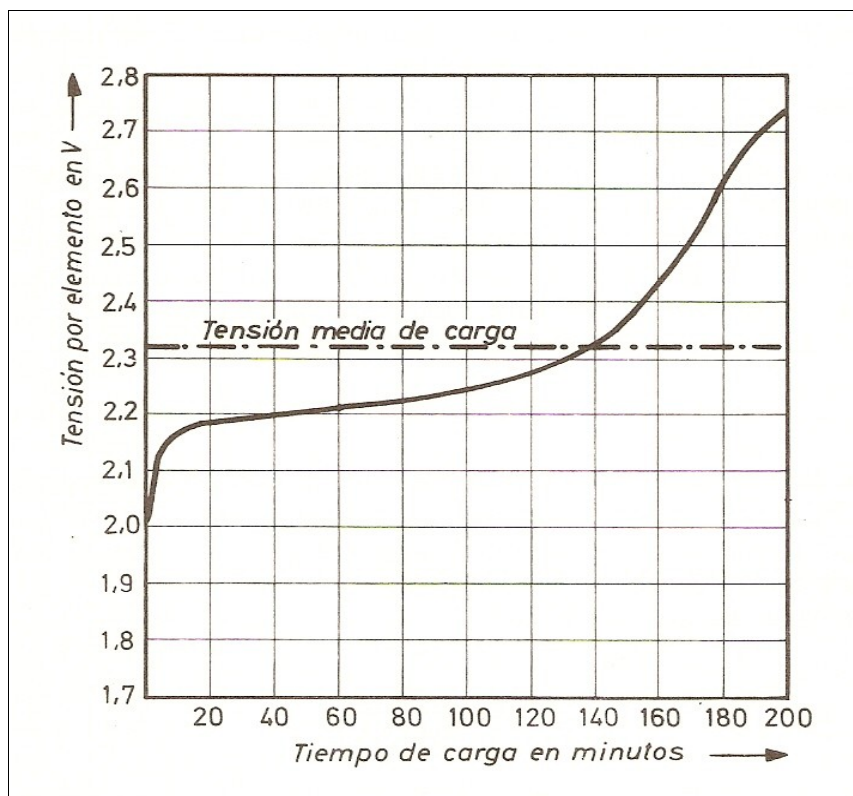


Figura 8: Tensión de una celda para una carga a corriente constante.

Fuente: Pilas y acumuladores maquinas de corriente continua; Ramírez Vázquez, José. Ediciones CEAC s.a.

Es importante reconocer cuando la batería esta completamente cargada, ya que si no se detiene la carga a tiempo ocasiona descomposición del electrolito y desprenden abundantes gases, removiendo las partículas de depositadas en el fondo y enturbiando el electrolito, y finalmente reduciendo la vida de las placas y la batería.

En la descarga de una batería también es importante conocer su comportamiento en tensión, porque indicará el momento en que la batería ha entregado su carga útil y cuándo se debe detener el proceso de descarga. En la Figura 9 se muestra la curva de tensión de una celda para una descarga de 3 horas.

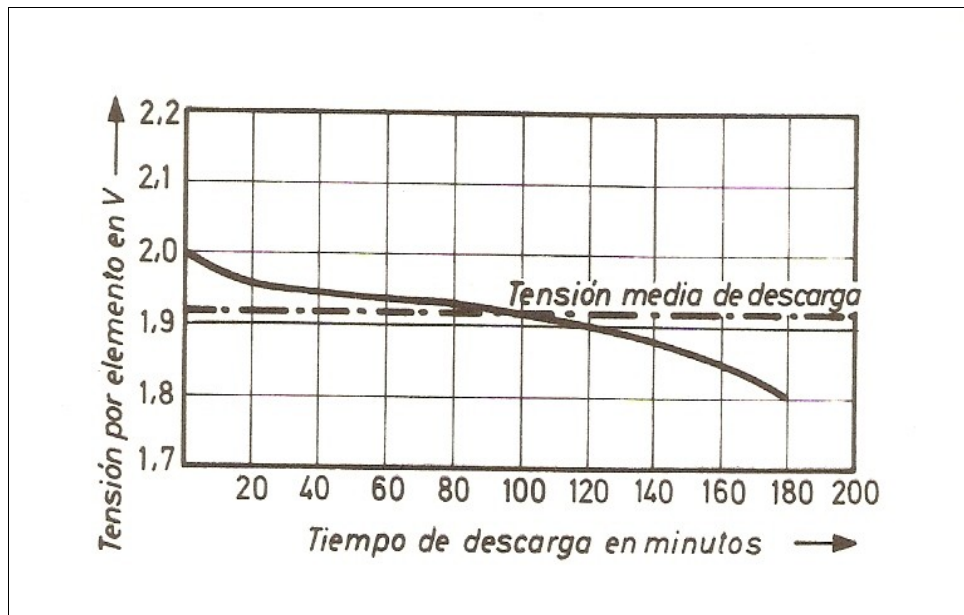


Figura 9: Tensión de una celda para una descarga a corriente constante.

Fuente: Pilas y acumuladores maquinas de corriente continua; Ramírez Vázquez, José. Ediciones CEAC s.a.

Si se descarga una batería por debajo de un límite inferior recomendado ocasionará el depósito de sulfato excesivo en las placas dificultando la reversión del proceso, reduciendo la capacidad y de la vida de la misma.

Los límites de descarga los especifica el fabricante para cada tipo de batería, como se presentó previamente existen baterías que son menos sensibles a las descargas que otras dependiendo de su diseño pero, para todas las baterías de plomo-ácido mientras más profunda sea la descarga mayor será el desgaste que esta sufra. En la Figura 10 se muestra una gráfica de la profundidad de descarga de una celda contra los ciclos de vida de la misma, de donde se puede extraer que mientras menor sea la profundidad con que se descarga el elemento mayor será su vida útil.

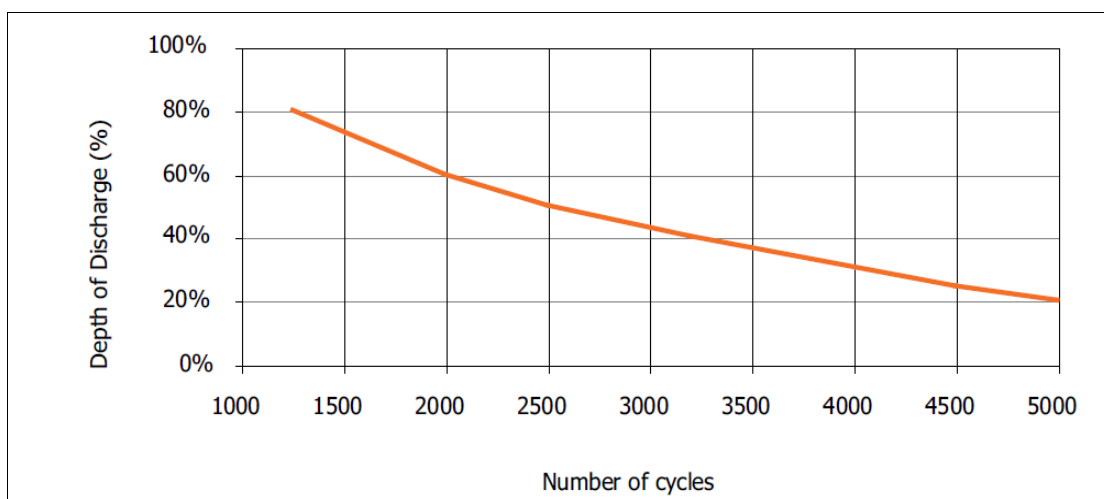


Figura 10: Vida en ciclos de una celda contra profundidad de descarga.

Fuente: Hoja de características técnicas de la Celda 2V 7 OpzS 490 Marca Sunligh.

La temperatura de la celda también influye en el comportamiento y en la vida de una batería, siendo las baterías de plomo sensibles a temperaturas ambiente extremas. Las temperaturas menores a 0°C pueden ocasionar el congelamiento del electrolito, lo que imposibilita trabajar a la batería. Por otro lado temperaturas mayores a 40°C reducen la vida en años de una batería, en la Figura 11 se muestra como a medida que aumenta la temperatura de trabajo de la celda la vida de esta se reduce dramáticamente.

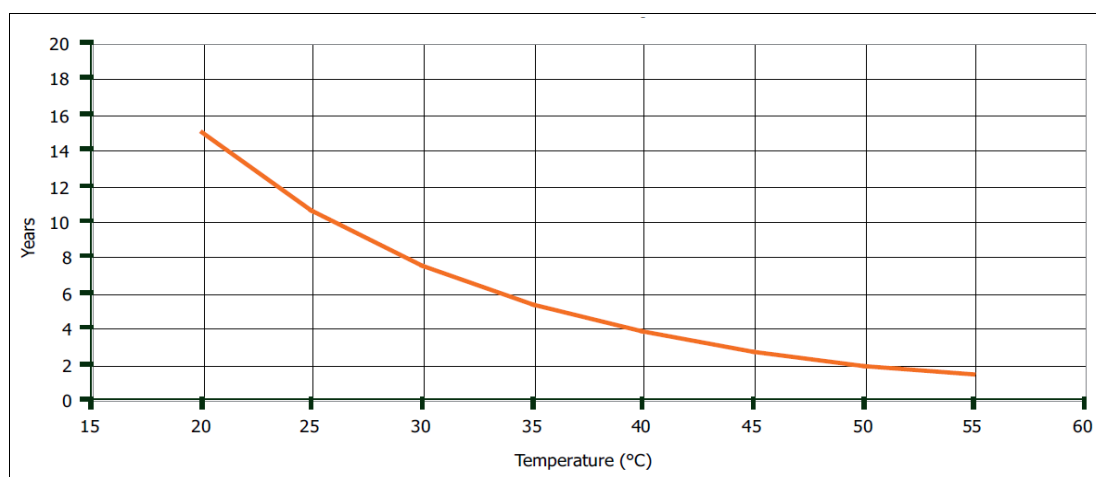


Figura 11: Vida de servicio de una celda contra temperatura de trabajo.

Fuente: Hoja de características técnicas de la Celda 2V 7 OpzS 490 Marca Sunligh.

Hay que mencionar que todas las subfamilias de las baterías de plomo-ácido poseen comportamientos similares, sin embargo cada una tiene características eléctricas diferentes, haciendo que haya que tomar en cuenta distintos límites de cargas y descargas para cada una de ellas.

2.1.7 Cargador de batería:

Los cargadores son los dispositivos encargados de suministrar la energía eléctrica que será almacenada en las baterías o acumuladores. En el mercado existen diversos tipos de cargadores, desde dispositivos tan simples como fuentes de tensión hasta dispositivos inteligentes que analizan las condiciones de las baterías y del medio para adecuar la carga.

Debido a que cada tecnología y cada subfamilia de batería poseen características propias, los cargadores suelen diseñarse para satisfacer las condiciones de una de esas subfamilias, siendo contraindicado su uso en otro tipo de subfamilia. El uso inadecuado de un cargador puede dañar permanentemente las baterías, incluso pueden ocasionar situaciones de explosión o incendio.

En los sistemas Fotovoltaicos un cargador de baterías puede considerarse indispensable, debido a que la mayoría de estos sistemas operan en gran medida desatendidos. En estos casos es necesario un dispositivo que evalúe las condiciones de generación de los paneles solares, las condiciones del banco de baterías y las condiciones de consumo del sistema, y basado en esta información controle la carga y descarga del banco de baterías; lo que asegura un mejor desempeño del sistema y prolonga la vida de las baterías y, por lo tanto, del sistema en general.

2.1.8 Métodos de carga:

En general, todas las tecnologías de baterías comparten los mismos métodos de carga. Sin embargo debido a las características que diferencian los comportamientos de cada tecnología, es necesario poseer controles de carga adecuados para cada uno de ellas.

Los métodos más comunes para cargar una batería son:

- Corriente constante: Se aplica una corriente constante a la batería, la magnitud de esta corriente y el tiempo por la cual se le aplica depende de la capacidad de la batería y de la rapidez con que se desea cargar la misma.
- Tensión Constante: Se aplica una tensión constante a los terminales de la batería, por lo general se limita también la corriente cuando las baterías están muy descargadas para evitar circulación de corrientes muy elevadas. La magnitud de la tensión depende de la tecnología de cada celda y del número de celdas conectadas.

Las baterías de plomo-ácido pueden ser cargadas tanto a corriente constante como a tensión constante. Sin embargo una carga mezclando ambos métodos en dos fases mejora la velocidad de carga y ayuda a prolongar la vida de la misma.

En la Figura 12 se muestra el comportamiento de una celda de plomo-ácido durante la carga basada en dos fases, la primera fase se realiza a corriente constante hasta lograr una tensión que llamaremos “Tensión de fin de carga por corriente” y la segunda se realiza a tensión constante manteniendo la tensión lograda en la etapa anterior hasta que la corriente de carga disminuya por debajo de una magnitud preestablecida como “corriente mínima de carga”.

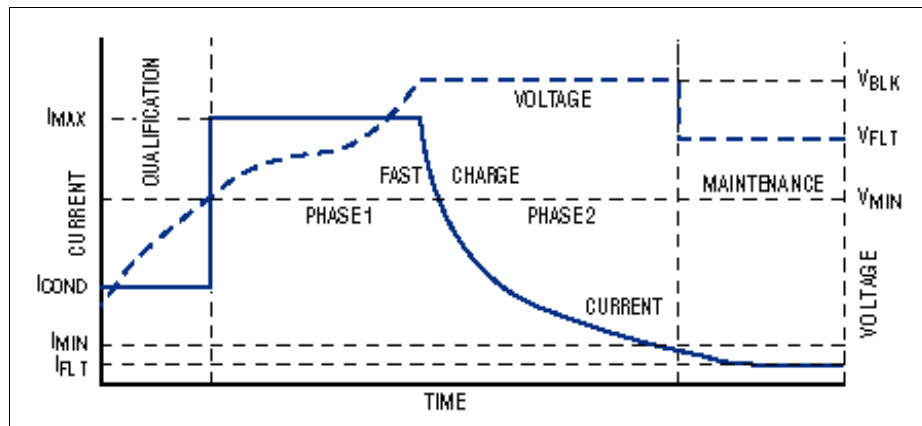


Figura 12: Perfil de Carga para baterías de plomo-ácido.

Fuente: Nota de aplicación “How to design battery charger applications that require external microcontrollers and related system-level issues” Dallas semiconductor, Maxim.

En el perfil presentado en la Figura 12 se muestran otras dos fases que son comunes en los cargadores inteligentes, una fase inicial en la que acondiciona a la batería para recibir carga, ya que las baterías que han tenido una descarga muy profunda suelen elevar la tensión muy rápidamente y, en ocasiones, se puede pasar por encima de la tensión de fin de carga, cuando comienza la carga. Para evitar esto en esa etapa inicial se carga con una corriente menor a la nominal de carga o se ignora la tensión de fin de carga por un tiempo determinado.

La última fase se suele conseguir en cargadores diseñados para sistemas en los que la batería es usada sólo en condiciones de respaldo, por lo que no se carga o descarga con frecuencia, entonces se deja un nivel de tensión conocido como “tensión de flotación” para evitar que la batería se descargue por su propias pérdidas internas.

CAPITULO III DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

3.1 DEFINICIÓN DEL HARDWARE

Los cargadores de baterías o controladores de carga que se diseñan para cumplir con las funcionalidades necesarias en sistemas fotovoltaicos, deben presentar las siguientes características:

- Poseer una etapa que sea capaz de manejar la energía eléctrica generada por un arreglo de paneles solares y dirigirla al banco de baterías, a su vez debe poder suministrar energía eléctrica a una aplicación o carga que se encuentre conectada al equipo
- En la etapa de potencia se puede controlar independientemente la energía generada y la energía consumida a través de señales que puedan ser manejadas por una etapa de control.
- Tiene una etapa de control que se encargue de tomar las decisiones, definir los estados de carga del banco de baterías y la potencia suministrada a la aplicación conectada.
- La etapa de control mide los datos de parámetros que son necesarios para la correcta decisión de los estados de carga, y debe suministrar información visual al usuario a través de interfaces dispuestas para tal fin.

Las etapas deben estar integradas en un solo equipo. En la Figura 13 se muestra un diagrama de bloques del equipo donde se representan las etapas diseñadas y su dependencia.

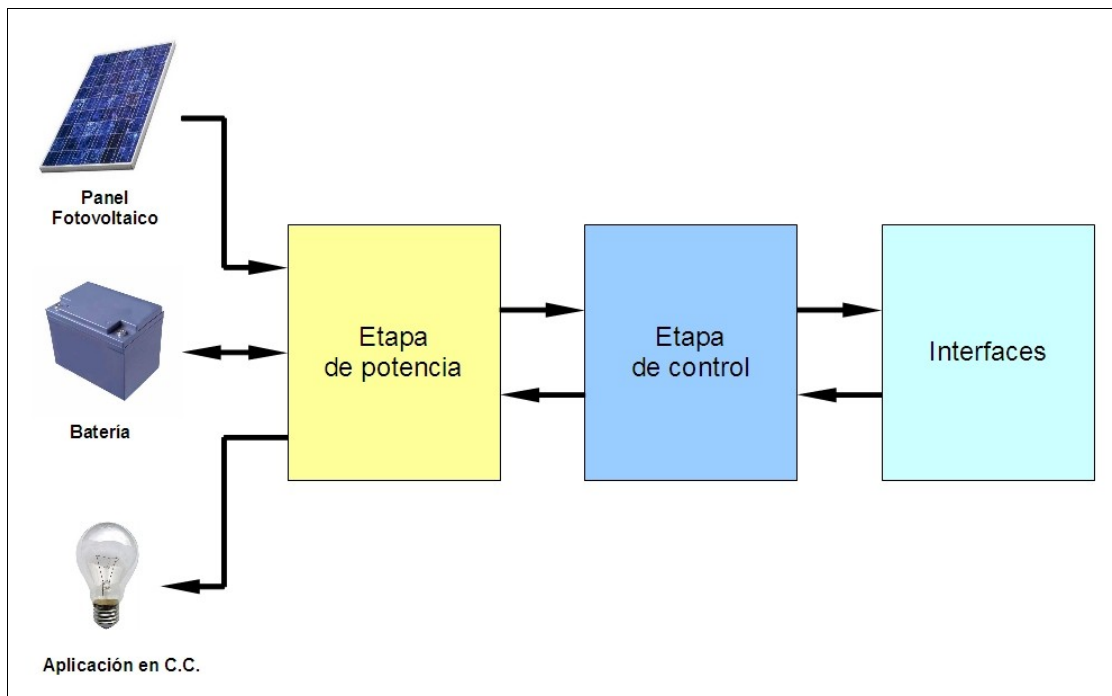


Figura 13: Diagrama de bloques del equipo.

3.1.1 Etapa de potencia

La etapa de potencia es la encargada de manejar la energía eléctrica generada por los paneles y crear un camino para el suministro y almacenamiento en el banco de baterías. Esta etapa tiene la capacidad de interrumpir el suministro de energía de los paneles hacia la batería o de la batería a la aplicación o carga según sea requerido.

El circuito y los componentes deben estar dimensionados para trabajar según las especificaciones de tensión nominal 12V y corriente máxima 30 A, establecidas por los objetivos del trabajo.

3.1.2 Etapa de control

Esta etapa estará encargada de tomar decisiones para definir el control de la tarjeta de potencia en base a la medición de los parámetros necesarios y, a la vez,

mostrará los parámetros de funcionamiento del equipo a través de las interfaces de usuario.

Los parámetros que se consideran necesarios para la toma de decisiones en los estados de carga y suministro de energía son:

- Tensión de Batería (V_{bat}): Es la tensión vista en los terminales de la batería, esta tensión es medida en las diferentes etapas de carga o en vacío según se requiera.
- Corriente de Panel (I_{panel}): Es la corriente que están suministrando los paneles cuando la batería está siendo cargada.
- Corriente de Carga (I_{carga}): Es la corriente que está siendo suministrada a una aplicación o carga en la salida del equipo.
- Temperatura ambiente ($Temp$): Se requiere para ajustar los parámetros de carga de la batería o incluso decidir si la condición ambiental no es la adecuada para realizar el ciclo de carga.
- Condición de luz en los paneles (C_{panel}): Se define como un parámetro que indica si las condiciones de luz son adecuadas para que los paneles puedan producir energía eléctrica.
- Condición de Cortocircuito (C_{corto}): Es un parámetro que alerta de una entrega de corriente por encima de los límites permisibles por el equipo.

Debido a la naturaleza de los parámetros, V_{bat} , I_{panel} , I_{carga} y $Temp$ deben ser medidos con convertidores analógicos digitales (ADC) ya que éstos estarán siendo comparados con tablas de valores que especifican el estado de carga para un tipo batería.

En la Tabla 1 se presentan los rangos de variación de las variables a medir y su resolución requerida, determinados a partir de un banco de baterías de tensión nominal de 12V.

Tabla 1 Rango de variación y resolución de parámetros

Variable	Rango	Precisión
Vbat	0 – 17 V	0,02 V
Ipanel	0 – 40 A	0,1 A
Icarga	0 – 40 A	0,1 A
Temp	0 – 50 °C	1 °C

La variable Vbat se desea resolver en incrementos de 0,02V en un rango de 17V, por lo que el numero de niveles de cuantización requeridos serán:

$$n = \frac{17V}{0,02 V} = 850 \text{ pasos}$$

El numero de bits requeridos para cumplir con esta condición es de 10, ya que con este numero de bits se obtienen 1024 pasos. El estudio se repite con las demás variables y se determinó que el uso de un convertidor de 10 bits es adecuado para todas las mediciones.

Las variables Ccarga y Cpanel son señales digitales que indican una condición específica dentro del funcionamiento normal del equipo, por ejemplo si la variable Cpanel se encuentra en “1” lógico indicará que los paneles se encuentran en condiciones de generar energía eléctrica, mientras que si está en “0” lógico indicará que las condiciones de luz no son adecuadas para la generación de energía.

Todas las características descritas requieren el uso de un microcontrolador que tenga un periférico ADC de 10 bits y la cantidad de entradas y salidas digitales para manejar tanto las interfaces como los canales de la tarjeta de potencia.

3.1.3 Interfaces

Para la fácil interpretación de las condiciones de funcionamiento del equipo y determinar si existen errores o fallas en el sistema es necesario el uso de interfaces de usuario. Debe poseer indicadores LEDs que muestren de manera sencilla en que estado del ciclo de carga se encuentran el sistema y a su vez muestre un aproximado de la carga.

El uso de una pantalla LCD permite mostrar los datos de los parámetros que mide el sistema y permite la fácil configuración inicial del equipo, también puede mostrar de manera más específica si existe un error y mediante una tabla de códigos se determina el origen de la falla.

3.2 DEFINICIÓN DEL SOFTWARE

El uso de un microcontrolador requiere que se desarrolle un programa o firmware. Éste se encargará de realizar las tareas de la medición periódica de los parámetros y debe controlar los canales de la etapa de potencia y las interfaces de usuario.

El programa establecerá los estados del ciclo de carga de baterías, si requieren ser cargadas, si llegaron a la tensión de carga adecuada, si la temperatura ambiente afecta el ciclo de carga. Además, determinará si los paneles se encuentran en condiciones de suministrar energía y si las baterías se encuentran dentro de un rango seguro para suministrar su energía almacenada.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

Una vez definidas las características del equipo se procedió a realizar el diseño de un prototipo funcional para poder realizar pruebas de laboratorio y realizar correcciones.

El equipo cuenta con cuatro (4) circuitos impresos y una pantalla LCD. Los circuitos impresos son: la tarjeta de potencia, la tarjeta de control, la tarjeta de teclado e indicadores LEDs y la tarjeta indicadora de polaridad invertida. Éstas dos ultimas junto con la pantalla conforman las interfaces de usuario. Todos los circuitos se describen a continuación:

3.3.1 Etapa de potencia

Como se estudió en las bases teóricas, los paneles solares tienen un comportamiento característico que permiten ser modelados como fuentes de corrientes dependientes de la radiación lumínica. Esta característica es aprovechada en el diseño debido a que la etapa inicial de carga de las baterías se recomienda hacerla a corriente constante.

En la Figura 14 esta representado el diagrama de bloques de la tarjeta de potencia, en éste se muestra los dispositivos que la constituyen y las señales que la controlan, además de las señales que tomadas y enviadas a la etapa de control.

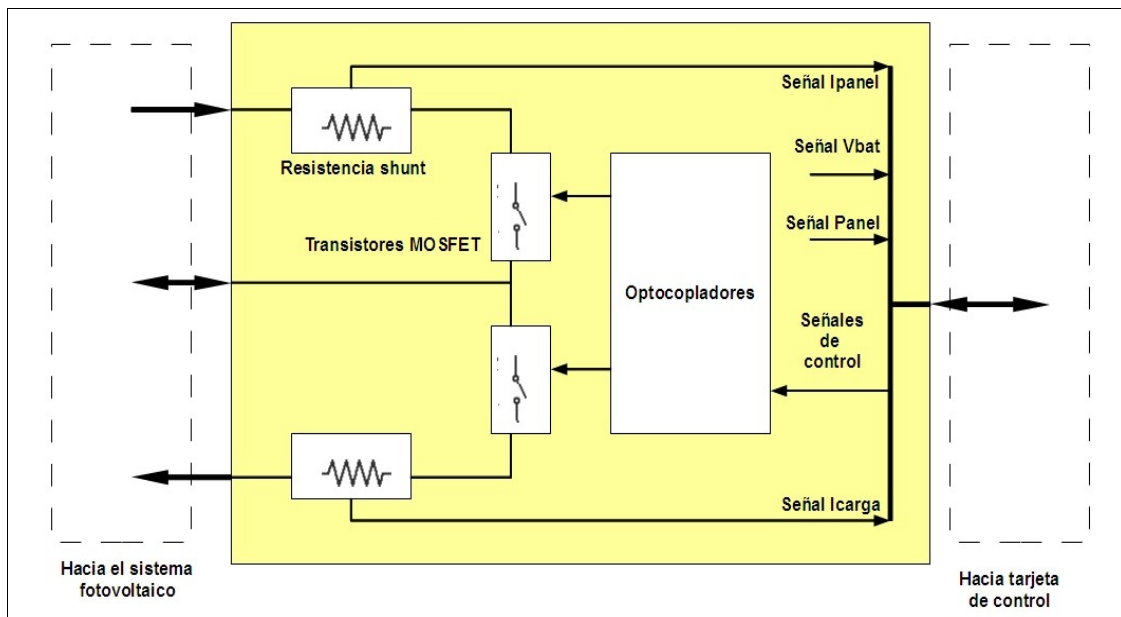


Figura 14: Diagrama de bloques de la etapa de potencia.

En la Figura 15 se muestra el diagrama esquemático del circuito de la tarjeta de potencia. Ésta tendrá la tarea de canalizar la energía generada en los paneles a las baterías, y suministrar la energía almacenada a la aplicación conectada al equipo.

Los dispositivos que permiten o interrumpen el paso de corriente entre los paneles, la batería y la aplicación son los MOSFET IRF Z44. Se seleccionaron estos transistores debido a que poseen mayor vida útil comparado con dispositivos electromecánicos como relés, es de fácil adquisición y pueden manejar la corriente definida en los objetivos específicos.

La topología de conexión que se muestra en la Figura 16, Q1 y Q2 se encuentran conectados por los Drain entre ellos. Ésto es debido a que los paneles solares presentan en su modelo un diodo, que se hace presente cuando no hay luz, por lo que si la batería se encuentra conectada la energía será drenada a través de los paneles. Esto se pudiese solucionar con un diodo, pero para esta aplicación la corriente que debe manejar ese diodo representa la selección de un dispositivo de grandes dimensiones, costoso y de difícil adquisición.

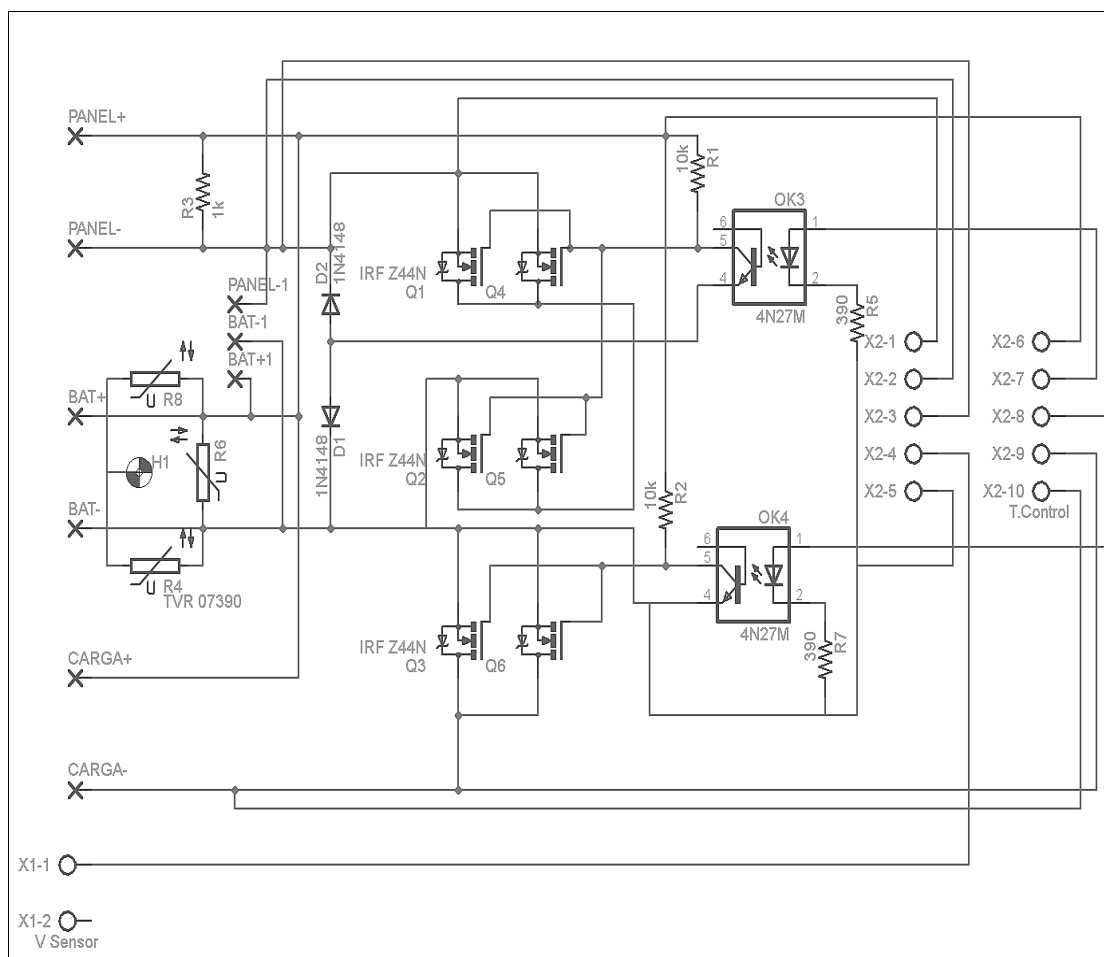


Figura 15: Diagrama esquemático de la tarjeta de potencia.

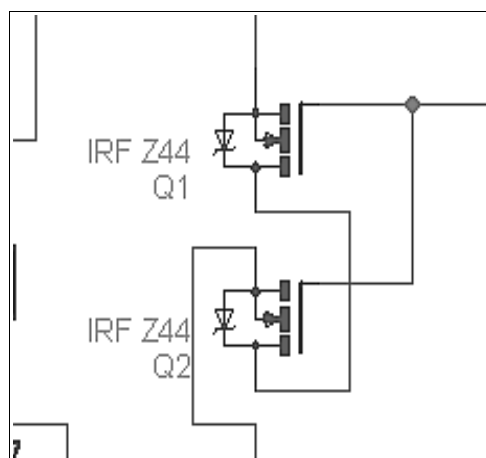


Figura 16: Topología de conexión de Q1 y Q2.

La solución implementada permite el uso de el diodo interno de los MOSFET que aparece como característica en su construcción. Este diodo puede manejar la corriente aproximadamente la corriente que el dispositivo maneja trabajando como MOSFET.

El funcionamiento de los MOSFET es controlado a través de los optocopladores OK3 y OK4. Éstos permiten aislar o proteger la etapa de control del manejo de potencia.

Una consideración en el diseño de la tarjeta es el manejo de la corriente especificada, y la capacidad de poder medirla. El uso de resistencias shunt discretas representan inconvenientes en cuanto a la disipación de potencia y las dimensiones de las mismas. La alternativa es realizar estas resistencias mediante las pistas del circuito impreso, por lo que se calculó del ancho e impedancia de la pista de la siguiente manera:

$$w = \left(\frac{1}{1,4 \cdot h} \right) \left(\frac{I}{k \cdot \Delta T^{0,421}} \right)^{1,397}$$

Donde w es el ancho de la pista, h es el grosor de la placa de cobre del circuito impreso expresado (valor normalmente representado en onza sobre pie al cuadrado [oz/ft^2]); I es la corriente de carga de la pista (en Amperes); k es una constante que depende cambia si es una capa superficial o una capa interna en el PCB, $k = 0,024$ si es interna y $k = 0,048$ si es externa; y ΔT es el máximo aumento permisible de la temperatura en la pista.[4]

Para el calculo se usa $h = 1 \text{ oz}/\text{ft}^2$ debido a que es el tipo de PCB que se encuentra comercialmente disponible; I está definida en los objetivos específicos como 30 A; $k = 0,048$; y $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. El resultado obtenido es de aproximadamente 472 mils, que equivalen a 12 mm.

El valor de la resistencia eléctrica de la pista queda definido por:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{h \cdot w}$$

En donde ρ es la resistividad del cobre y es igual a $1,68e^{-8} \Omega \cdot m$; l es la longitud de la pista, que para la tarjeta que se diseñó se mide entre los puntos de a pista que se usa como shunt y es de 37mm; w es ancho previo calculado, y h es el grosor de la capa de cobre (en mm), el valor nominal del grosor de la capa de cobre para un PCB con una relación peso/área de 1 oz/ft² es de 1,35 mils o 0,034 mm $\pm 10\%$ [5]. El cálculo de la resistencia de la pista es $R=0,0018 \Omega$

Experimentalmente se determinó que es necesario el uso de un arreglo de transistores en paralelo, debido a que el uso de un sólo transistor maneja una potencia cercana a los límites del dispositivo. El costo combinado del arreglo en paralelo es menor al que si se selecciona un dispositivo de mayor capacidad que cumpla con las exigencias, el uso del arreglo en paralelo tiene la ventaja de mejorar la disipación de calor debido a que es mayor área de contacto y aumenta la confiabilidad al no depender de un único dispositivo.

La potencia que disipa cada transistor viene dado por la expresión:

$$P = P_f + P_s$$

Donde P_f es la potencia que se disipa en funcionamiento continuo y P_s es la potencia que se disipa cuando el dispositivo conmuta. Estas potencias obedecen a las siguientes expresiones:

$$P_f = I_f^2 \cdot R_{DS(on)}$$

En la que I_f es la corriente que atraviesa el dispositivo y $R_{DS(on)}$ es la resistencia propia del dispositivo en estado de conducción. Ésta última es una dato suministrado por el fabricante.

$$P_s = V_{DD} \cdot I_s \cdot (t_r + t_f) \cdot f$$

En donde V_{DD} es la máxima tensión de alimentación, I_s es la corriente que atraviesa el dispositivo, t_r y t_f son los tiempos de alza (rise) y caída (fall) propios del dispositivo, datos que suministra el fabricante, y f es la frecuencia de trabajo.

Suponiendo las condiciones extremas de trabajo, donde $I_f = 37A$ y $V_{DD} = 22V$, y sabiendo que $R_{DS(on)} = 17,5m\Omega$, $t_r = 60ns$, $t_f = 45ns$ y f es aproximadamente 2kHz, y tomando en cuenta el arreglo en paralelo se obtiene la total potencia disipada por cada dispositivo $P \approx 6W$.

Con ésta potencia, se calcula el tamaño de los disipadores de calor necesarios. La expresión que define la disipación de calor del la unión del transistor al ambiente es:

$$T_U - T_A = P_D \cdot (\theta_{UC} + \theta_{CD} + \theta_{DA})$$

En la que T_U es la temperatura de la unión, T_A es la temperatura ambiente, P_D es la potencia disipada, θ_{UC} es la resistencia térmica de la unión a la carcasa del transistor, θ_{CD} la resistencia térmica de la carcasa al disipador y θ_{DA} es la resistencia térmica del disipador al ambiente lo que da la relación para determinar el tamaño del disipador requerido.

Suponiendo el caso extremo en que $T_A = 50^\circ C$ (se usa $65^\circ C$ para obtener un margen de seguridad) y donde la máxima temperatura de operación del transistor es $T_U = 175^\circ C$, $\theta_{UC} = 1,5^\circ C/W$, datos suministrado por el fabricante, y $\theta_{CD} = 0,8^\circ C/W$ con el uso de mica y silicon para disipadores. La θ_{DA} obtenida para los 6 transistores

colocados en un mismo disipador es de 3°C/W .

Tomando un perfil de disipador con características similares al mostrado en la Figura 17 y tomando en cuenta que la eficiencia de la transferencia de calor aumenta cuando son colocados varios elementos en el mismo disipador [6], la longitud resultante es aproximadamente de 50mm. (la mejora de eficiencia tomada fue de solo el 20% en el canal del panel).

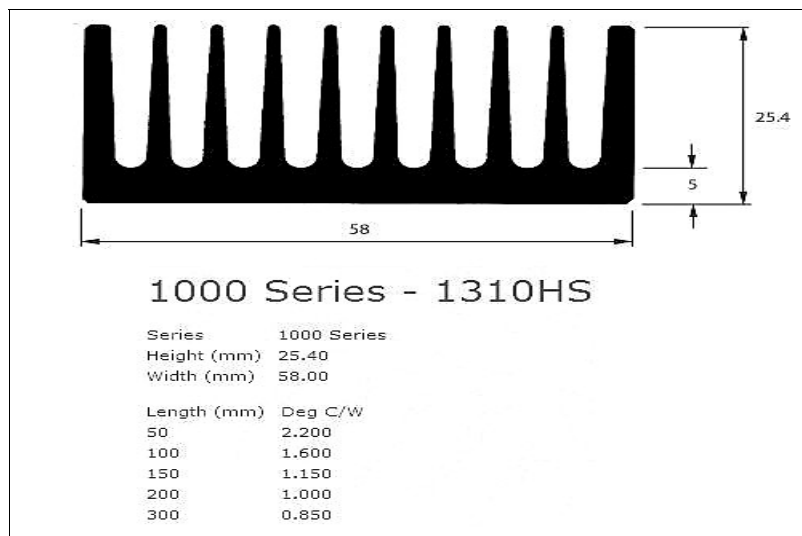


Figura 17: Perfil del disipador de calor.

Fuente: http://www.birminghamaluminium.com/heatsink_detail/63.

Como protección adicional para el equipo, se colocaron varistores para suprimir picos de tensión que puedan sucederse en las líneas de generación, batería o consumo. Estos picos son canalizados a la carcasa del equipo que será tomada como punto de puesta a tierra.

3.3.2 Etapa de control

Como se describió con anterioridad, la tarjeta de control estará encargada de realizar las mediciones de los parámetros del sistema que son requeridos para que pueda controlar la tarjeta de potencia y mostrar la información a través de las interfaces de usuario. En la Figura 18 se muestra el diagrama de bloques de la tarjeta de control, y en la Figura 19 el diagrama esquemático de la misma.

El dispositivo microcontrolador seleccionado es el Microchip PIC 16F877A, del cual se utilizan cuatro canales ADC para la medición de variables, dos entradas digitales para las señales Cpanel y Ccorto, dos salidas digitales para el control de la tarjeta de potencia, y los puertos requeridos para el control de la pantalla, el teclado y los LEDs indicadores.

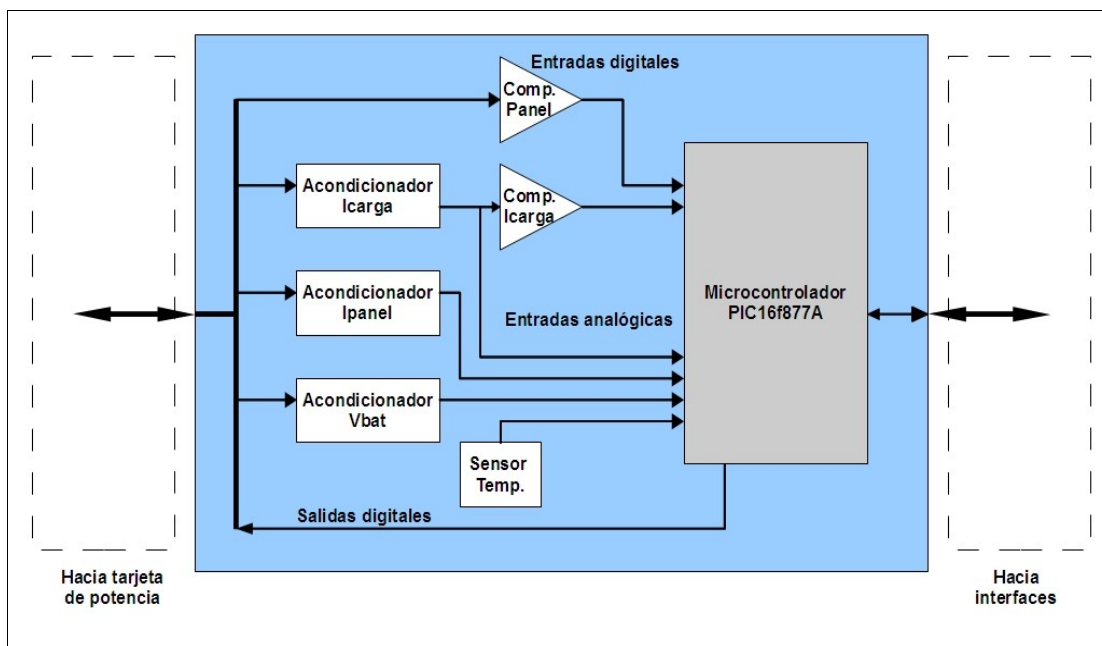


Figura 18: Diagrama de bloques de la tarjeta de control.

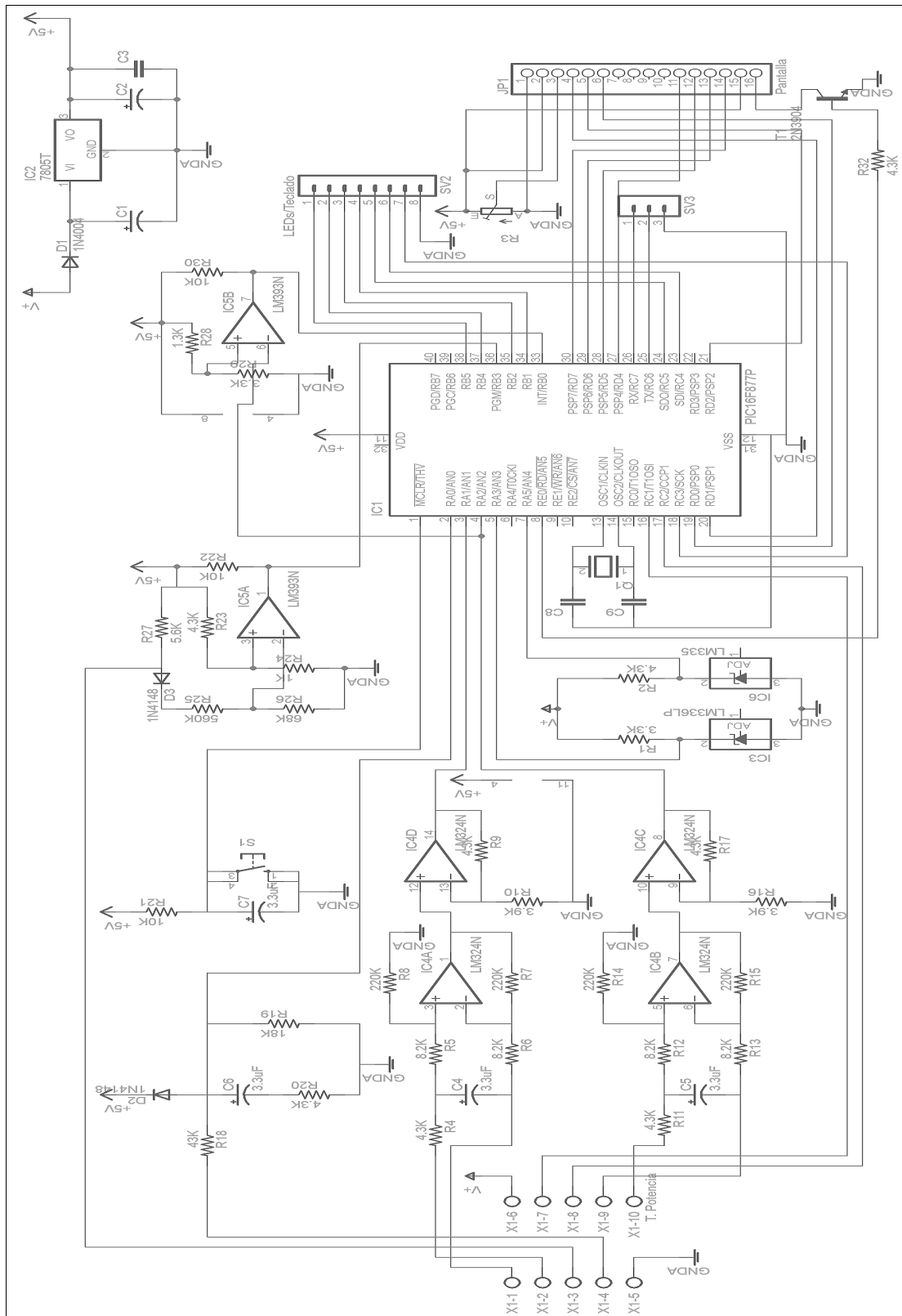


Figura 19: Diagrama esquemático de la tarjeta de control.

3.3.2.1 Canales ADC

La medición de las variables Vbat, Ipanel, Icarga y Temp; se realiza a través de los canales ADC del microcontrolador AN0, AN1, AN2 y AN4 respectivamente. Las señales Vbat, Ipanel e Icarga son previamente acondicionadas como se muestra en la Figura 20.

La variable Vbat es acondicionada por un divisor de tensión que ajusta el rango de variación inicial a un rango entre 0 y 5 V. Adicionalmente se coloca un filtro pasa-bajo pasivo anti-alias para evitar ruido en las señales que están siendo medidas. A manera de protección se coloca el diodo D2 a +V en caso de que la tensión se eleve por encima del máximo permisible por el equipo.

En el diagrama de la Figura 19, se puede observar que tanto la variable Ipanel como Icarga son medidas bajo el mismo método. Las pistas que se encuentran a la entrada del conexión del panel y a la salida de la conexión de carga poseen el mismo ancho y largo de manera que las resistencias que presentan son iguales, por lo que sus circuitos acondicionadores se ajustaron de manera que tuviesen el mismo diseño. En la Figura 20 se presenta en detalle los circuitos de medición de corriente.

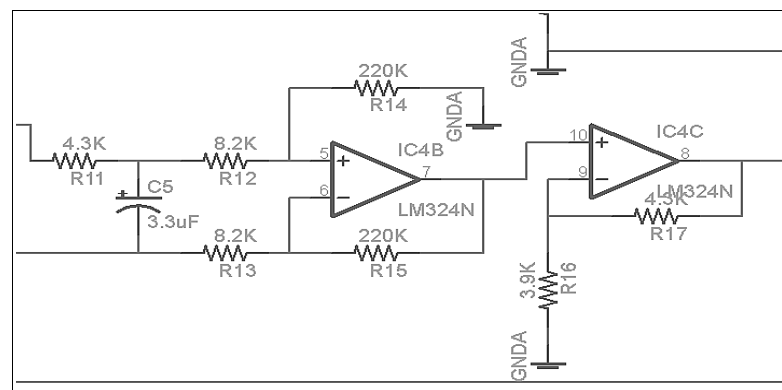


Figura 20: Detalle circuito amplificador para medición de corriente.

La pista usada como resistencia shunt está conectada en sus extremos a un amplificador diferencial en cascada con un amplificador no inversor para acondicionar el rango de la tensión de la resistencia shunt debido a la corriente a un rango entre 0 y 5. Debido a la conexión de los amplificadores fue requerido un ajuste de rango de corriente, este se modificó a 0 – 50 A para reducir el efecto producido por el V_{swing} del LM324. Esto significa que en 1024 pasos la resolución será de aproximadamente 0,05A, lo que sigue cumpliendo con la condiciones de diseño.

La alimentación del amplificador LM324 se colocó en +5V por dos razones, la primera para simplificar el circuito y reducir costos, y la segunda es que en caso de mediciones erróneas o daño del circuito de medición el máximo valor a la salida será V_{sat}^+ del operacional o en el peor de los casos +5V, lo que protege el canal ADC.

La medición de temperatura se realiza por medio de un circuito integrado LM335. La selección de este circuito se decide luego de comparar disponibilidad y costo con un circuito de medición similar, el LM35, que otorga un rango de medición y sensibilidad similares.

Buscando la estabilidad de la tensión de referencia del ADC se utilizó una tensión de referencia LM336Z-5.0. Ésta se coloca en el canal AN3 que corresponde al terminal V_{ref}^+ por configuración interna del microcontrolador.

3.3.2.2 Entradas Digitales

La señal C_{panel} es usada para determinar si existen condiciones de luz adecuadas para la generación. Basándose en el comportamiento que tienen los paneles solares ante variaciones de luz, representado en la gráfica de la Figura 3, la tensión en vacío del panel aumentará rápidamente con la aplicación de radiación lumínica. La tensión en vacío del panel permite saber si se encuentran en condiciones de generar.

El bloque comparador “Comp. panel” representado en la Figura 18, es el encargado de determinar si la tensión de vacío del panel se encuentra por encima de la tensión nominal de las baterías. Si no hay luz el comportamiento del panel es un abierto por lo que en la salida del comparador habrá un “0” lógico, si el panel recibe luz la en la salida habrá un “1” lógico. Estas señales son capturadas a través de la entrada RB3 del microcontrolador.

La señal Ccorto esta representada en el bloque “Comp Icarga”. Éste se encarga de colocar un 1 lógico en la entrada RB0 cuando la corriente en la carga supere el nivel de corriente de sobrecarga del equipo. El comparador recibe la señal de tensión acondicionada por la etapa de medición de corriente. Se utiliza la entrada RB0 ya que es el puerto de interrupción externa, lo que garantiza una atención inmediata por parte del microcontrolador ante la ocurrencia del evento.

3.3.2.3 Puertos de salida

Los puertos de salida representados en la Figura 18 son los encargados de activar o desactivar los optocopladores que polarizan los MOSFET de la etapa de potencia. La salida RC2 controla el encendido de la salida para la conexión de la carga o aplicación.

La salida RC1 es la encargada de controlar la conexión de los paneles. Esta entrada coincide con el periférico PWM del PIC 16F877A (refiérase a la Figura 19), lo que permite su uso para regular la corriente que circula de los paneles a la batería cuando sea necesario. Ambas salidas están conectadas directamente al LED de los optocopladores.

3.3.2.4 Puertos de interfaces

La pantalla que se decide usar es una pantalla LCD 16x2 que está conectada al puerto JP1 . Las señales de control provienen del puerto D del microcontrolador. JP1 tiene incluida la alimentación y el potenciómetro de ajuste de contraste, además posee un transistor conectado a la salida RE0 para controlar la iluminación de la pantalla (refiérase a la Figura 19).

En el puerto SV1 están conectados Los LEDs indicadores y el teclado, todos en una sola tarjeta. El puerto B del microcontrolador posee resistencias de pull-up internas, lo que permite descartar el uso de resistencias de pull-up en la tarjeta del teclado (refiérase a la Figura 19).

3.3.2.5 Opción Puerto de comunicación serial

Aunque no se había planteado el uso de comunicación serial, en el diseño de la tarjeta de control se planteó el aprovechamiento futuro de este puerto del microcontrolador. La simple adición de un modulo interfaz puede permitir la comunicación tal como RS-232, RS-485 o inclusive USB.

3.3.3 Interfaces

El equipo posee dos tarjetas indicadoras y una pantalla LCD 16x2 que actúan como interfaz de usuario.

3.3.3.1 Indicadores LEDs y Teclado

En esta tarjeta están tres LEDs, uno de color verde, uno de color amarillo y el ultimo de color rojo. Además, esta tarjeta tiene cuatro pulsadores como teclado simple. El diagrama esquemático se muestra en la Figura 21.

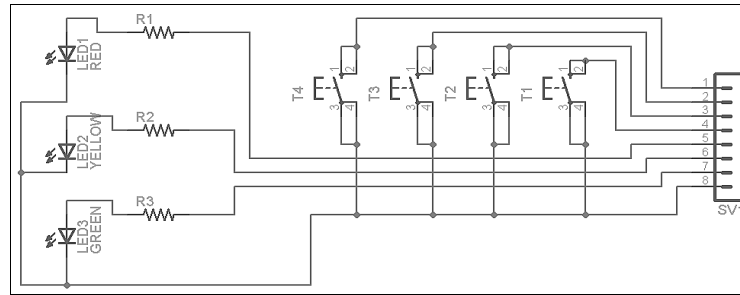


Figura 21: Diagrama esquemático de la tarjeta de LEDs y Teclado.

Los LEDs indican el nivel de tensión en la batería y el estado del ciclo de carga de manera rápida y simple, también indican si existe un error en el sistema. Las indicaciones se logran por medio de combinaciones de encendido y parpadeos de los LEDs.

El teclado permite desplazarse por las opciones del menú de configuración del equipo y las pantallas de información de parámetros durante el funcionamiento.

3.3.3.2 Indicador de polaridad inversa

Esta tarjeta tiene como finalidad emitir una señal visual y audible en caso de que se realice una conexión invertida en los terminales de la batería o de los paneles al momento de la instalación del equipo. El diagrama esquemático se muestra en la Figura 22. En el conector SV1 de la tarjeta, el terminal 1, 2 y 3 están conectado al terminal BAT+1, BAT-1 y PANEL-1 de la tarjeta de potencia respectivamente.

Los diodos D1 y D2 mostrados en la Figura 22 evitan la circulación de corriente entre los terminales BAT-1 y PANEL-1 cuando aparece una diferencia de potencial entre ellos. En caso que se polarice de manera incorrecta los paneles solares o la batería, circulará una corriente por los diodos D1 y D2 encendiendo el LED1 y a su vez la señal audible.

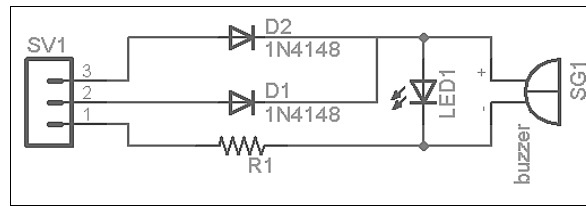


Figura 22: Diagrama esquemático de la tarjeta indicadora de polaridad inversa.

3.3.4 Diseño de caja

Todos las tarjetas son montadas en una caja diseñada para tal propósito. Esta caja integra todos los elementos como un solo equipo. Las características que fueron tomadas en cuentas fueron la protección de los circuitos, el fácil acceso a los terminales de conexión, la fácil visualización de las interfaces y la ventilación de la etapa de potencia.

El plano de diseño se muestra en la Figura 23, fue tomado como base una caja de aluminio comercial y modificada para la colocación de todos lo elementos.

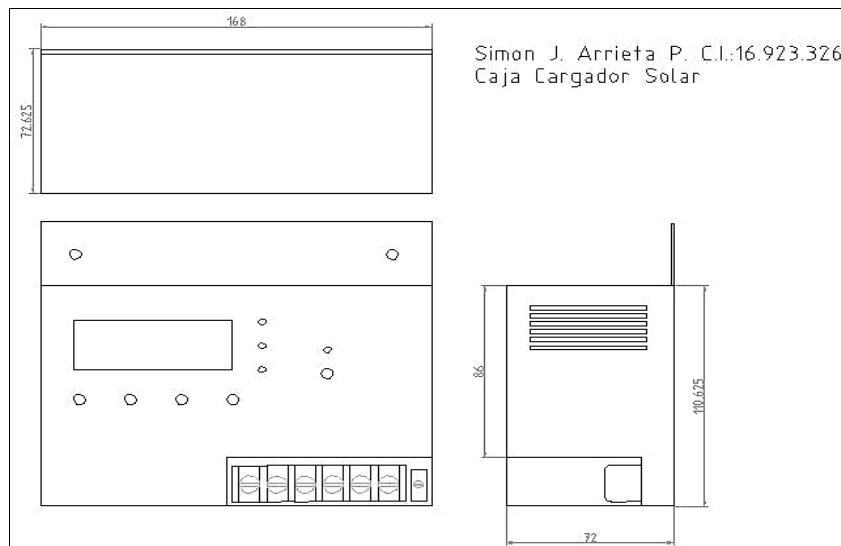


Figura 23: Plano de diseño de la caja.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El firmware fue desarrollado en lenguaje C y usando el compilador “CCS C compiler”. La casa CCS pone a disposición una versión de demostración del compilador, que funciona para el microcontrolador con un límite de tamaño de programa y por un período de 30 días.

El programa está basado en una máquina de estados, que permite tratar a cada segmento del ciclo de carga como un estado específico. Esta máquina se apoya en subrutinas que le permiten hacer la adquisición e interpretación de datos, manejo de puertos de interfaces y manejo de los puertos de salida. La estructura del programa se explica más en detalle a continuación.

3.4.1 Máquina de estados

La respuesta del equipo ante ciertos eventos puede interpretarse como estados, cada estado es una respuesta específica para un grupo de condiciones que se dan en el sistema. Los cambios de las condiciones representan cambios en las decisiones y por lo tanto cambios de estados.

Un mapa o diagrama de estados explica cómo el equipo se va moviendo entre estados dependiendo de las condiciones que se presenten. En la Figura 24 se muestra el diagrama de la máquina de estados que controla el cargador de baterías. En este diagrama están representadas las condiciones de los cambios entre los estados.

Los eventos representados en el diagrama de la Figura 24 tienen tareas específicas que dan respuesta a los eventos que llevan a ese estado. Las tareas de cada estado son:

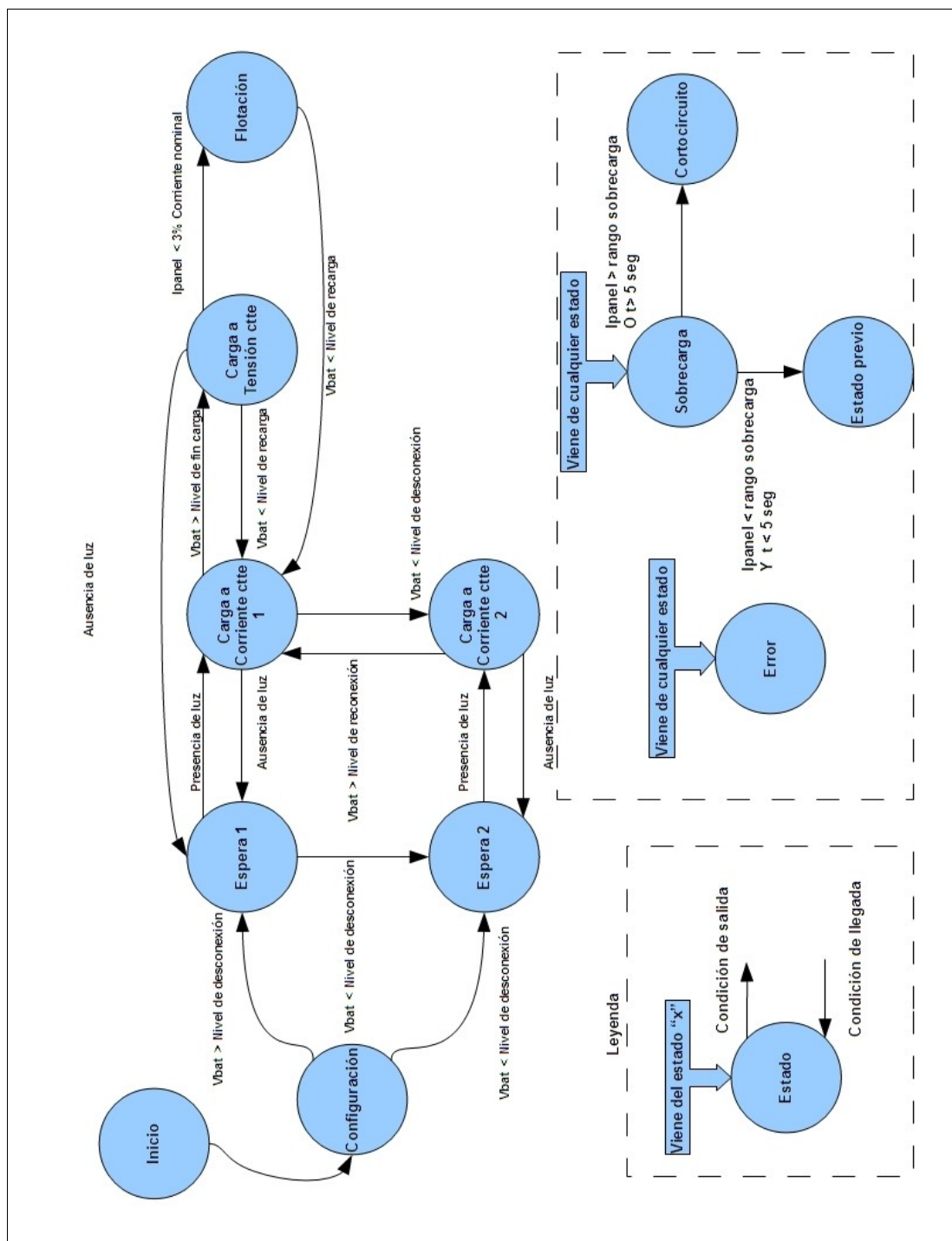


Figura 24: Diagrama de Máquina de estados.

- Inicio : Es el primer estado donde arranca el equipo, aquí se configuran los periféricos y las primeras variables.
- Configuración: En este estado se muestra al usuario un menú de selección donde puede escoger el tipo de batería que se conectó al sistema, basado en esta selección se ajustan los parámetros que condicionan los cambios de los estados.
- Espera 1 y Espera 2: Si la batería se encuentra en condiciones de entregar energía el equipo ingresa en Espera1 y activa la salida, si no en Espera2 y mantiene la salida desactivada. En estos estados se espera a que los paneles solares lleguen a la condición para generar energía.
- Carga a corriente constante 1 y Carga a corriente constante 2: En estos estados se inicia la carga a corriente constante. La diferencia de estos estados es si la batería está en condiciones de suministrar energía está ingresa en Carga a corriente constante 1 y activa las salidas, si no en carga a corriente constante 2 y desactiva las salidas.
- Carga a tensión constante: Es la siguiente etapa de carga, una vez alcanzado un nivel determinado de tensión en la batería el equipo la mantiene y reduce la corriente de carga para culminar el ciclo de carga. En este estado se usa PWM para poder regular la corriente de carga y mantener la tensión constante en un set-point.

Flotación: Luego que la batería se ha cargado completamente se llega a este estado, en el que se coloca una tensión de mantenimiento para evitar la descarga propia de la batería o la descarga debido a la aplicación. Al igual que el estado anterior se usa PWM para mantener la tensión en un set-point.

- Error: Si los parámetros de la batería o del sistema se salen de unos valores considerados de normal operación, el equipo llega a este estado, no importa de cual estado previo. En este estado, se desconectan las salida y los paneles por seguridad y se envía una alerta al usuario. Los parámetros considerados son tensión muy alta, tensión muy baja en la batería y temperatura. Esto puede ser indicio de una conexión errónea de las baterías (tensión nominal inadecuada), que la batería se encuentra en un estado de descarga donde el daño sobre la misma puede ser irreversible o que las condiciones de temperatura no sean las adecuadas para proceder con la carga o descarga.
- Sobrecarga: A este estado se llega de cualquier estado en el que la salida este activa y la corriente de la aplicación exceda el nominal del equipo dentro de un rango aproximado del 25%, criterio basado en otros equipos comerciales. Aquí se espera por un periodo de 5s para que se establezca la corriente en la salida. Si la corriente desciende por debajo del nominal el equipo regresa al estado previo y continua con sus funciones regulares. Si la corriente aún se encuentra por encima del valor nominal el equipo se lleva al estado “cortocircuito”, que se explica en el siguiente punto, para proteger su integridad.
- Cortocircuito: a este estado se puede llegar desde cualquier estado. Es un estado de seguridad del equipo donde se desactiva tanto los paneles como la salida cuando es detectado un cortocircuito a través de una interrupción externa o cuando la sobrecarga se mantuvo por encima del tiempo establecido. Aquí se espera un periodo de tiempo de 5 min, con motivo de esperar que el cortocircuito o sobre carga sean removidos. Transcurrido este tiempo el equipo retoma operación normal.

Durante los estados “Carga a tensión ctte” y “Flotación” se requiere controlar la corriente que entregan los paneles a la batería para mantener una tensión constante en sus terminales. Esto se logra usando PWM para controlar la activación de los transistores MOSFET de la tarjeta de potencia.

El ancho de pulso varia dependiendo de la tensión Vbat. Si la tensión aumenta, se reduce el tiempo que están activo los transistores MOSFET de la tarjeta de potencia, y viceversa. Esto se logra mediante el cálculo de la siguiente expresión:

$$Rpwm_1 = Rpwm_0 + (V_{BAT} - V_{FLOAT}) \cdot \alpha$$

La expresión anterior se desprende de un lazo de control lineal donde $Rpwm_0$ es el registro actual del PWM, $Rpwm_1$ es el registro nuevo calculado, Vbat es la tensión de la batería medida, Vfloat es el set-point que desea lograr y α es una constante que ajusta la velocidad de respuesta del lazo de control que fue determinada experimentalmente.

La máquina de estado es manejada como una interrupción por temporizador, para ser actualizada periódicamente. El uso de atención de evento por temporizador es usado para evitar que la máquina se pierda o quede en un bucle infinito.

La máquina de estado se apoya en el uso de subrutinas para poder llevar a cabo las funciones del equipo. Estas subrutinas se explican en los siguientes apartados.

3.4.2 Rutina de selección de batería

Esta rutina se encarga de mostrar al usuario las opciones de los tipos de baterías que el equipo soporta y le permite seleccionar una de ellas. En la pantalla se muestran las posibles selecciones que se pueden seleccionar mediante el uso del teclado. Si el usuario no presiona ninguna tecla por un tiempo determinado la opción mostrada en la pantalla es seleccionada y se configuran los parámetros basado en esta opción.

Debido a que cada tipo de batería requiere parámetros específicos, fue necesario hacer un estudio para cada uno de ellos basado en información suministrada por fabricantes. La información que fue recopilada se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Tensiones de operación recomendadas para distintos tipos de baterías (por celda).

	Tecnología de construcción.			
Parámetro. (V)	Tubular abierta	Gel (VRLA)	AGM (VRLA)	SLI (automotriz)
Tensión nominal	2	2	2	2
Tensión de fin de carga	2,35 – 2,40	2,35	2,40 – 2,45	2,45
Tensión de flotación	2,23 +/- 0,02	2,25	2,25 – 2,30	2,3
Tensión de fin de descarga recomendado (a 10hr)	1,8	1,8	1,8	1,9
Tensión de fin de descarga recomendado (1 hr)	1,65	1,65	1,65	1,8

Referencias múltiples: [7],[8],[9], [10] y [11]

Con la Tabla 2 se pudo seleccionar las tensiones que determinan los cambios de la máquina de estados. Esta selección se hace en base niveles trabajo recomendados tanto por fabricantes como por estándares de funcionamiento de sistemas fotovoltaicos. En la Tabla 3 se muestran los valores correspondientes a cada batería para los parámetros de decisión de la máquina de estado que fueron seleccionados.

Tabla 3 Tensiones de operación seleccionadas para distintos tipos de baterías (arreglos de 12V nominal).

Parámetro. (V)	Tecnología de construcción.				
	Tubular abierta	Gel	AGM	SLI	Automático ***
Tensión alta (alarma)*	15,2	14,9	14,9	15,2	14,9
Tensión de fin de carga*	14,4	14,1	14,4	14,7	14,4
Tensión de flotación*	13,4	13,5	13,5	13,8	13,5
Tensión baja (alarma)	11,8	11,8	11,8	11,9	11,9
Tensión de desconexión **	11,1	11,1	11,1	11,6	11,6
Tensión de recarga a corriente	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
Tensión reconexión de consumo.	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7

(*) Valor compensado en temperatura

(**) Valor estimado para una Profundidad de descarga del 50% SLI [11], 60% resto de las tecnologías [7],[8]y[9]

(***) Configuración automática seleccionada para trabajar con cualquier tecnología cumpliendo con la mayor cantidad de parámetros de todas las tecnologías.

La columna de la Tabla 3 que corresponde a “Automático” son los datos que se configuran por defecto si el usuario no selecciona ninguna batería. Ésto permite que un usuario que no conozca el tipo de batería conectada seleccione una opción que puede generar daños a la batería o el sistema.

3.4.2 Rutina de medición y actualización de datos.

La rutina de actualización está encargada de refrescar los valores de los parámetros del sistema cada vez que es llamada. La llamada a la rutina se repite constantemente dentro de un ciclo infinito dentro del programa principal.

La rutina actualización llama a otra subrutina llamada “captura” indicando el canal del ADC donde se va a adquirir el dato. “captura” se encarga de seleccionar el canal, esperar el tiempo de establecimiento del canal, tomar una serie de muestras y realizar un promedio a fin de reducir el ruido presente en la medición. Una vez obtenido el dato, este es retornado a la rutina de actualización.

Con el valor obtenido, la rutina actualización realiza una operación matemática para convertir el valor que se encuentra entre 0 y 1023 a un valor de tensión o corriente dependiendo del parámetro medido. El resultado obtenido se guarda en la variable correspondiente a la medición.

En la Figura 25 esta representado un diagrama de flujo que explica el funcionamiento de la subrutina actualización y de la subrutina captura. También aparecen subrutinas de conversión que son necesarias para poder transformar la información del ADC en el parámetro correspondiente.

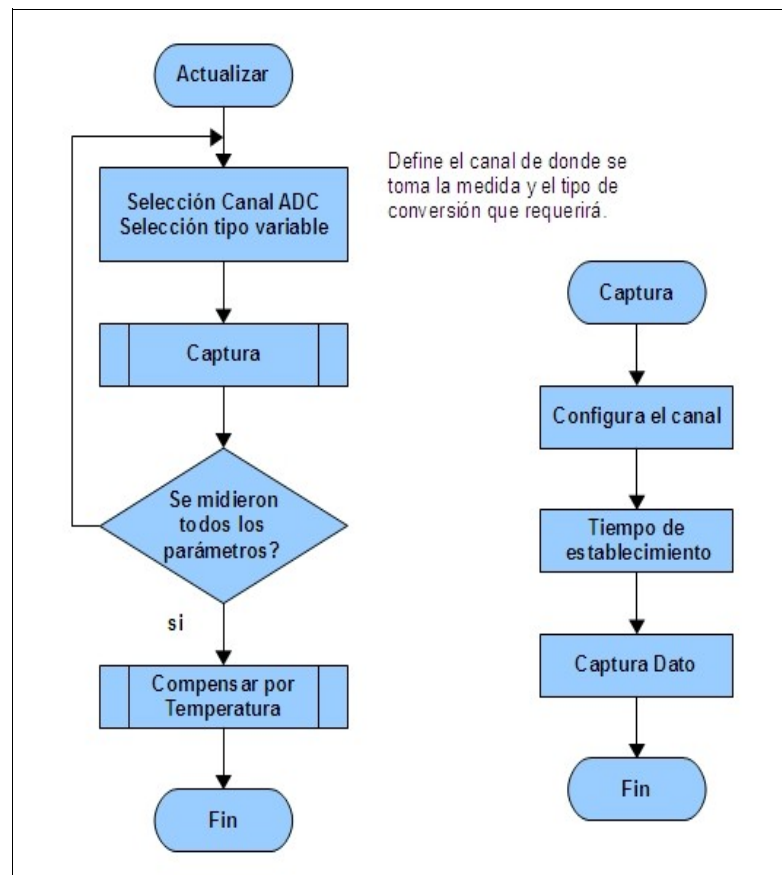


Figura 25: Diagrama de flujo de la rutina actualización y captura.

3.4.4 Rutina interfaz LEDs

Esta rutina es la encargada de controlar la interfaz de LEDs indicadores para poder suministrar información al usuario de las condiciones en que opera o que tarea se encuentra realizando el equipo.

Debido a que cada estado de la máquina de estados está ligado a una etapa del ciclo de carga, la rutina aprovecha el conocimiento del estado actual de funcionamiento para representar la información de operación.

La información que se muestra en los LED se interpreta de como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Código de los indicadores LEDs

Condición	Panel	Consumo (carga)	LEDs		
			Verde	Amarillo	Rojo
Inicio del equipo / verificación	Apagado	Apagado	Encendido	Encendido	Encendido
Batería cargada / sin generación	Apagado	Encendido	Encendido	Encendido	Encendido
Batería media / sin generación	Apagado	Encendido	Apagado	Encendido	Encendido
Batería baja / sin generación	Apagado	Encendido	Apagado	Apagado	Encendido
Batería debajo del nivel crítico	*	Apagado	Apagado	Apagado	Intermitente
Batería cargada / Flotación	PWM	Encendido	Encendido	Encendido	Encendido
Batería próxima totalidad de carga / carga tensión constante	PWM	Encendido	Intermitente	Encendido	Encendido
Batería media / carga corriente constante	Encendido	Encendido	Apagado	Intermitente	Encendido
Error / sobrecarga / cortocircuito	Apagado	Apagado	Intermitente	Intermitente	Intermitente

(*) esta condición aplica cuando está o no generando.

La información mostrada en los LEDs permite de forma rápida y simple saber lo que ocurre en el sistema. Si se desea más información del sistema es necesario apoyarse en la información que brinda la pantalla.

3.4.5 Rutina interfaz pantalla

Esta rutina esta encarga de mostrar en la pantalla la información del sistema de forma cíclica. De esta manera el usuario puede tener más detalles de los parámetros del sistema y del estado de funcionamiento del equipo.

Como la pantalla usada es una LCD 16x2, en cada línea se muestra un parámetro del sistema a la vez. Ésto genera pares de parámetros mostrados en intervalos de tiempo que se presentan en turnos. En la Figura 26 se muestra el diagrama de ciclo de la pantalla con la información mostrada.

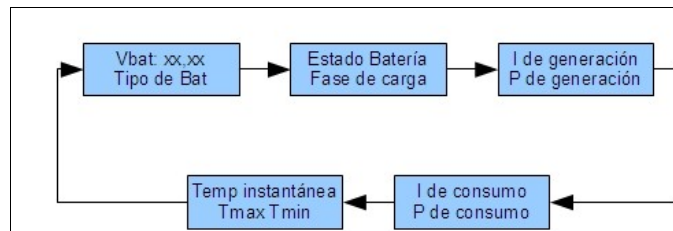


Figura 26: Diagrama del ciclo de muestras de pantalla.

En la Figura 27 se muestra un diagrama de flujo que explica el funcionamiento de la subrutina.

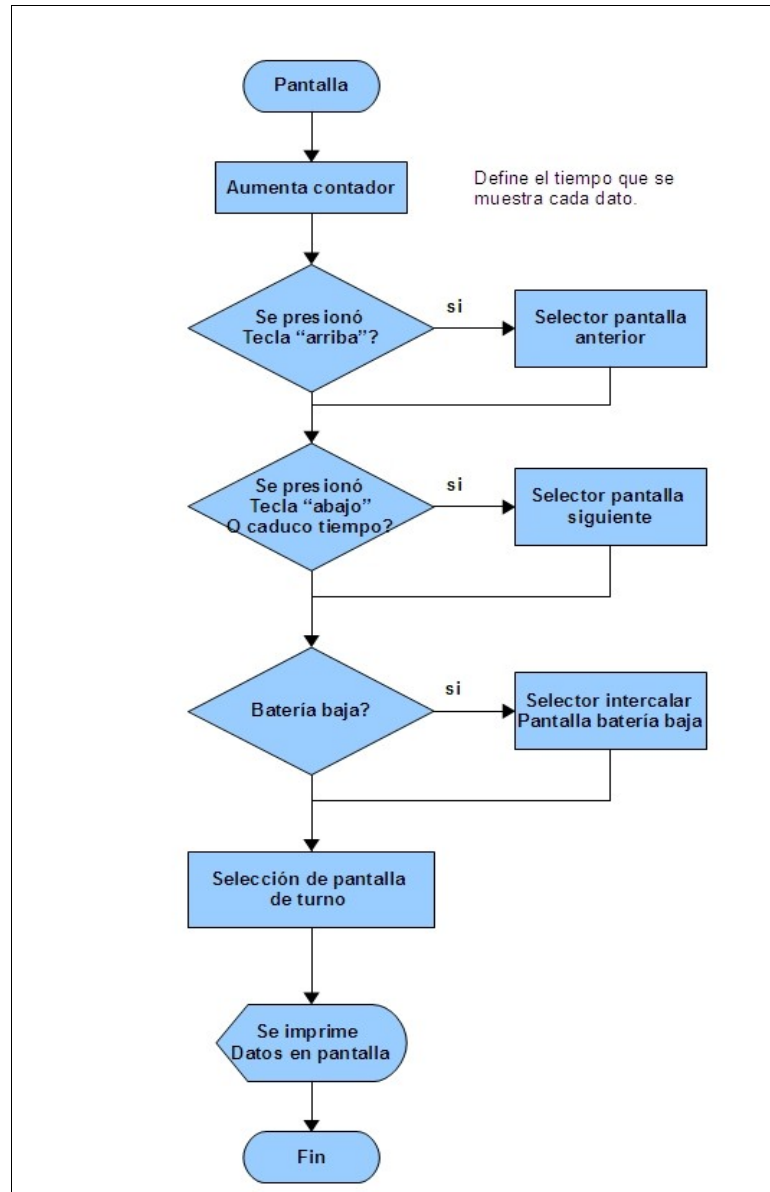


Figura 27: Diagrama de flujo de la rutina pantalla.

3.4.6 Rutina interfaz teclado

Esta rutina detecta la tecla presionada y almacena su valor en una variable global para que pueda ser utilizada por cualquier rutina a su tiempo. Posee una “verificación de falsos” para evitar posibles errores por rebote de teclas.

3.4.8 Rutina ajuste de parámetros por temperatura.

Las Baterías son sensibles a los cambios de temperatura. Por esta razón es conveniente usar una compensación en las tensiones de fin de carga y de flotación para reducir el deterioro causado a las baterías por evaporación de electrolito y la sulfatación de las placas.[12]

Durante la ejecución de la rutina de actualización, los niveles limites que condicionan la “Carga a tensión constante” y “Flotación” son compensados siguiendo el cálculo de la siguiente expresión:

$$V_{FLOAT1} = V_{FLOAT25^{\circ}C} + m \cdot (Temp - 25^{\circ}C)$$

V_{FLOAT1} es el valor compensado de la tensión set-point, $V_{FLOAT25^{\circ}C}$ es la tensión set-point mostrados en la Tabla 3 los cuales requieren ser compensados, $Temp$ es la temperatura medida y m es una constante que se termina a partir de la curva que se muestra en la Figura 28. m para todas las tecnologías fue tomada como 5mV/°C

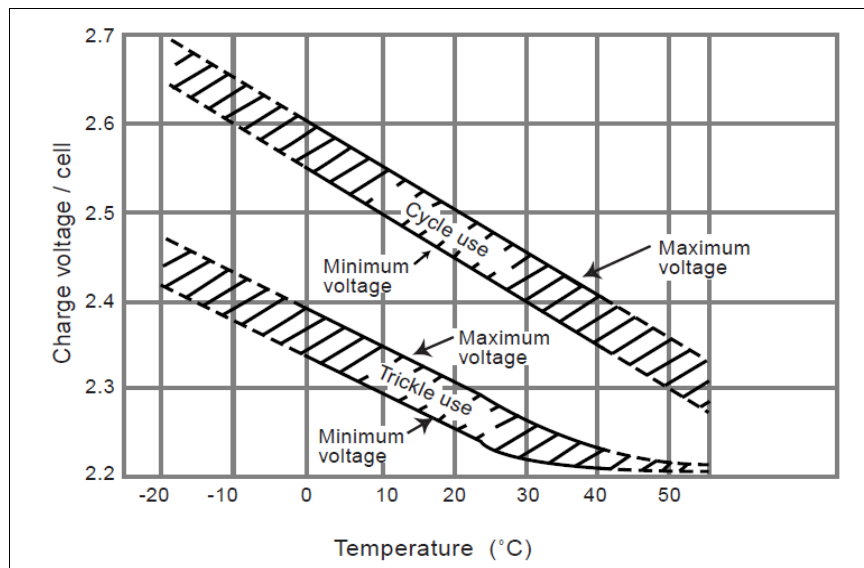


Figura 28: Gráfico de rango de compensación de voltaje según temperatura.

Fuente: Methods of charging the Valve-Regulated Lead-Acid Battery, Panasonic 2005

CAPITULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1 PRUEBAS DE MEDICIÓN Y FUNCIONALES

Luego de diseñado y construido un prototipo funcional se procedieron a realizar una serie de pruebas para verificar el correcto funcionamiento de las partes que lo componen.

3.1.1 Pruebas iniciales

Al ensamblarse la tarjeta de potencia se verificó el correcto funcionamiento de los transistores de potencia y de los optocopladores que los polarizan. Esta prueba fue realizada a baja potencia y con instrumentos de laboratorio.

De la manera similar, una vez concluido el ensamblaje de la tarjeta de control, sin colocar el microcontrolador se procede a verificar si las condiciones de operación de la fuente de poder de la tarjeta, la referencia de tensión y sensor de temperatura son las adecuadas.

Concluidas las pruebas de las tarjetas por separado, se conectaron todas las tarjetas y se realizó el armado final del equipo. Se colocó el microcontrolador cargado con el software y se realizaron las ultimas pruebas de verificación.

El Software en su estado de inicio permite la la verificación de las interfaces de usuario. Se verificó que la pantalla mostrara la información de manera correcta y se ajustó mediante el potenciómetro Rp1 de la tarjeta de control el contraste de la misma. Se verificó el correcto funcionamiento de los LEDs indicadores y de los botones del teclado.

Se realizó una prueba de inversión de conexión. Tanto la batería como el panel fueron invertidos de polaridad en la conexión del equipo. Ésto comprobó el correcto funcionamiento de las protecciones y de la alarma que indica un error en conexión.

Por último, se realizaron pruebas en los canales de medición para verificar su correcto funcionamiento y para determinar las características de los mismos.

3.1.2 Pruebas de medición.

3.1.2.1 Canal 0 : Vbat

Para la medición de tensión se usó una fuente de tensión variable conectada a la entrada del canal y se utilizó como instrumento de referencia un voltímetro digital marca MASTECH, modelo MG803R. Se varia el rango de tensiones desde cero volts, hasta el máximo permisible por el canal. Los valores se muestran en la Tabla 5 con las desviaciones basadas en la referencia.

Tabla 5 Pruebas de medición en el Canal 0 (Vbat).

Referencia [V]	Medición [V]	Desviación [%]
1,004	0,95	5,4
2,003	1,96	2,1
3,003	2,98	0,8
4,01	4,01	0,0
5,01	5,03	0,4
6,00	6,04	0,7
7,00	7,04	0,6
8,00	8,05	0,6
9,00	9,07	0,8
10,01	10,11	1,0
11,02	11,12	0,9
12,01	12,13	1,0
13,00	13,13	1,0
14,01	14,16	1,1
15,01	15,18	1,1
16,01	16,20	1,2
16,69	16,88	1,1
Desviación máxima		5,4
Desviación mínima		0,0
Desviación promedio		1,2

Con los datos obtenidos es posible determinar mediante una regresión lineal la característica de transferencia del canal. La Figura 29 muestra la representación gráfica de los datos medidos y la recta de la regresión lineal con ecuación que la define.

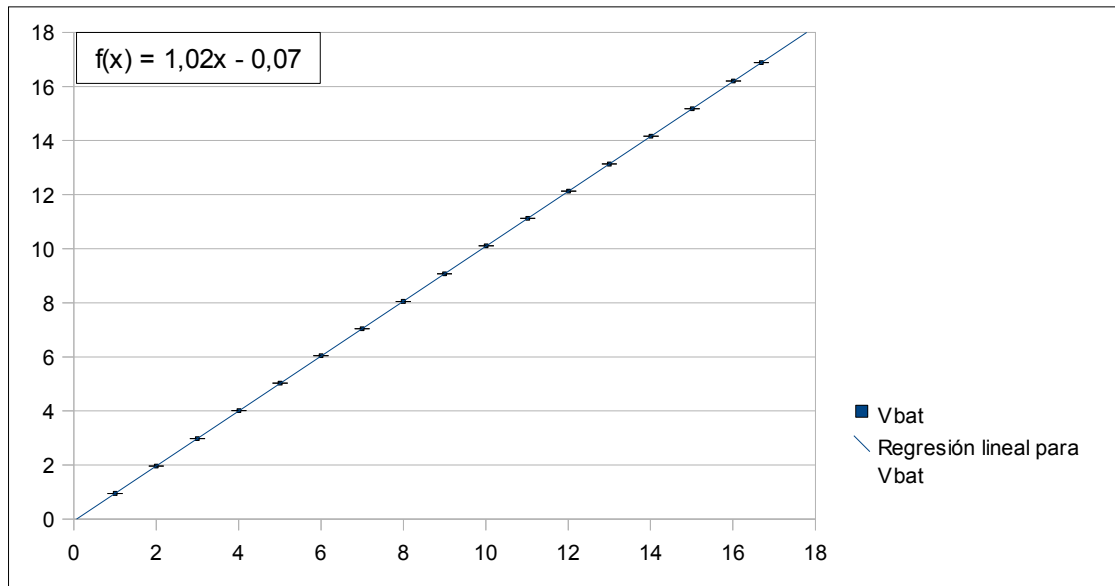


Figura 29: Gráfico de prueba de medición de Vbat.

Considerando que el rango de trabajo donde se realizan las mediciones de la tensión de la batería se encuentra entre 9V y 16V, la desviación máxima obtenida en las pruebas para este rango no supera el 2%.

3.1.2.2 Canal 1 y 2 : Ipanel e Icarga

Para la realización de estas pruebas fue necesario el uso de una batería capaz de suministrar grandes magnitudes de corrientes por el tiempo que durara cada medición. La referencia usada en esta prueba fue un multímetro digital marca UNI-T modelo U-55.

En la medición de Ipanel, la batería es conectada en el puerto de conexión del panel mientras un carga realizada con 5 reostatos de 33Ω (4,4A max) se conecta al puerto de la batería, para simular la circulación de corriente de un panel a una batería que esta siendo cargada. El multímetro fue colocado en serie con la carga. Se realizaron variaciones en los reostatos para ir aumentando la corriente y se fueron tomando los valores de la referencia y del equipo, la duración de cada medición no superó los 15 segundos por vez y a medida que la corriente se acercaba a la escala alta de la referencia se dejaban reposar los equipos en intervalos de 5 min.

El mismo procedimiento se repite para Icarga, esta vez la batería es conectada al puerto de conexión del banco de baterías y la carga al puerto de conexión de carga. En la Tabla 6 se encuentran reportados los resultados obtenidos.

Tabla 6 Pruebas de medición en el Canal 1 y Canal 2 (Igen e Icon).

Igen			Icon		
Referencia [A]	Medición [A]	Desviación [%]	Referencia [A]	Medición [A]	Desviación [%]
1,02	0,89	12,7	1,02	0,49	52,0
2,00	1,92	4,0	2,00	1,42	29,0
3,01	2,94	2,3	3,01	2,36	21,6
4,00	3,97	0,8	4,01	3,34	16,7
5,01	5,00	0,2	5,00	4,28	14,4
6,01	6,07	1,0	6,00	5,26	12,3
7,01	7,10	1,3	7,00	6,20	11,4
8,00	8,13	1,6	8,02	7,18	10,5
9,02	9,06	0,4	9,01	8,17	9,3
10,06	10,18	1,2	10,03	9,15	8,8
11,02	11,16	1,3	11,01	10,13	8,0
12,06	12,28	1,8	12,04	11,22	6,8
13,01	13,31	2,3	13,01	12,15	6,6
14,03	14,42	2,8	14,02	13,23	5,6
15,01	15,54	3,5	15,01	14,27	4,9
16,02	16,66	4,0	16,02	15,25	4,8
17,02	17,91	5,2	17,10	16,43	3,9
18,12	19,13	5,6	18,12	17,47	3,6
Desviación máxima		12,7	Desviación máxima		52,0
Desviación mínima		0,2	Desviación mínima		3,6
Desviación promedio		2,9	Desviación promedio		12,8

Al igual que para el canal 0, en la Figura 30 se muestra la representación gráfica de los datos medidos para Igen con la recta obtenida de la regresión lineal y la ecuación que la define, mientras que en la Figura 31 se muestra al misma información para Icon. Estas gráficas permiten observar las características de transferencia de estos canales..

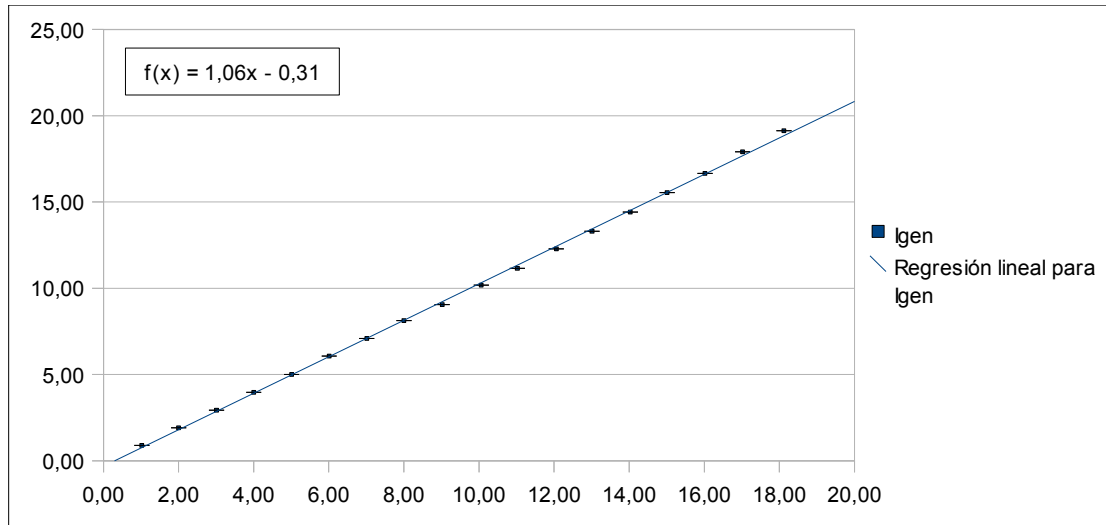


Figura 30: Gráfico de prueba de medición de Igen.

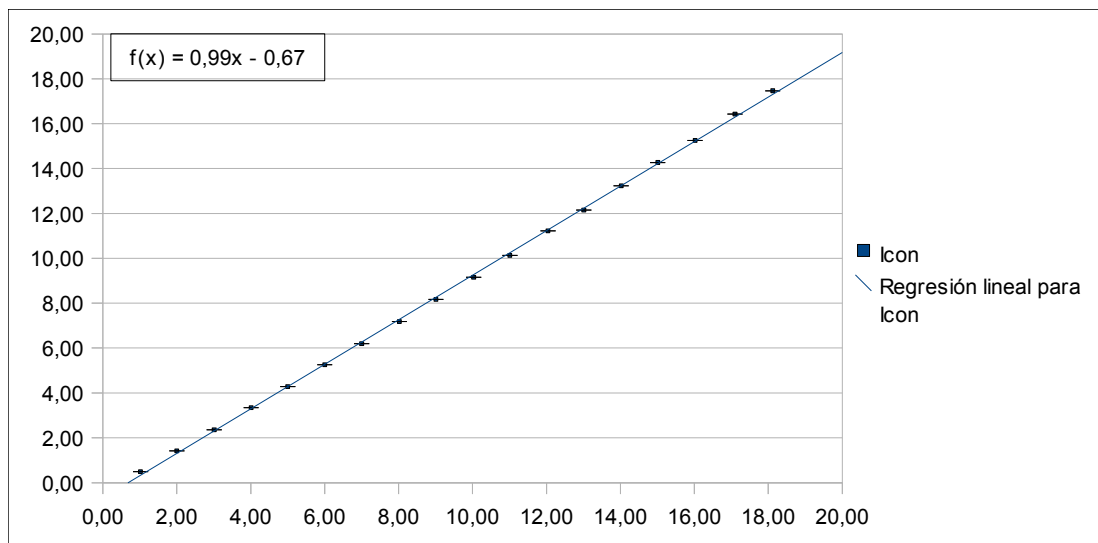


Figura 31: Gráfico de prueba de medición de Icon.

Las gráficas muestran un comportamiento prácticamente lineal en el rango de medición, donde la desviación promedio del canal del panel se encuentra en 3% y la del canal de carga en 12%.

Las desviaciones de las mediciones se deben a la tolerancia de los componentes, a la desviación asociada al cálculo de la resistencia shunt de la pista, y a las características propias de los amplificadores operacionales. Sin embargo, las desviaciones en ambos canales se reducen significativamente hacia la parte superior de la escala, lo que es conveniente debido a que las decisiones de mayor importancia son tomadas en este rango.

3.1.2.3 Temperatura

En esta prueba el equipo fue colocado en un horno casero y se elevó la temperatura mientras se realizaban mediciones, el instrumento de referencia utilizado fue el multímetro UNI-T U-55. Cuando la temperatura circundante al equipo alcanzó 50 °C, se apagó el horno y se dejó descender la temperatura.

Posteriormente el equipo fue introducido en un refrigerador casero y se tomaron mediciones a medida que descendía la temperatura del equipo. Los resultados se muestran en la Tabla 7. En la Figura 32 se muestra la representación gráfica de los datos, con una regresión lineal la ecuación de define su comportamiento.

La gráfica muestra un comportamiento lineal en todo el rango de medición, la desviación promedio es del 2%, lo que se traduce en una desviación promedio inferior a $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Tabla 7: Pruebas de medición en Canal 3 (Temp).

Referencia [°C]	Medición [°C]	Desviación [%]	Referencia [°C]	Medición [°C]	Desviación [%]
49	49	0	29	28	3
48	48	0	28	27	4
47	47	0	27	26	4
46	46	0	26	25	4
45	44	2	25	24	4
44	43	2	24	24	0
43	42	2	23	23	0
42	41	2	22	22	0
41	40	2	21	21	0
40	38	5	20	20	0
39	37	5	19	19	0
38	36	5	18	18	0
37	35	5	17	17	0
36	35	3	16	16	0
35	34	3	15	15	0
34	33	3	14	14	0
33	33	0	13	12	8
32	32	0	12	11	8
31	31	0	Desviación máxima		8
30	30	0	Desviación mínima		0
			Desviación promedio		2

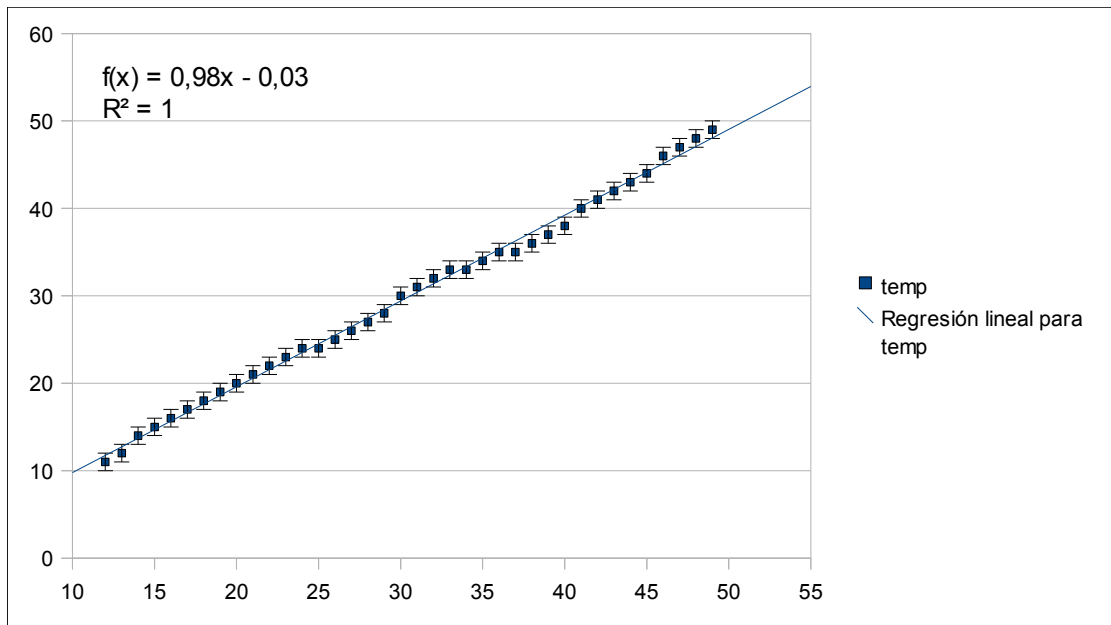


Figura 32: Gráfico de pruebas de medición Temp.

3.1.3 Corriente de consumo.

Para determinar el consumo de corriente propia del equipo, fue alimentado con un amperímetro en serie (UNI-T U-55) y se midieron corrientes en diversas etapas de funcionamiento del equipo. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8 Consumo de corriente propia del equipo.

Medición	Resultado:
Mínimo consumo	38,9 mA
Máximo consumo (sin backligh de display)	50,1 mA
Máximo consumo (con backligh de display)	123,3 mA

3.1.4 Prueba de cortocircuito y sobrecarga.

Para la realización de esta prueba fue necesaria la construcción de un banco de carga. Éste cuenta con cinco (5) bombillos de halógeno de tensión nominal 12V, tres de ellos de 100W y los otros dos de 55W para un total de 410W. Cada bombillo posee un interruptor independiente que permite aumentar o disminuir la carga. El banco fue conectado directamente a la salida de carga del equipo.

En las primeras pruebas se aumento gradualmente la carga hasta alcanzar los 410W, aproximadamente 34A. Al transcurrir unos segundos con esta carga el equipo fue capaz de determinar la sobrecarga en la linea de consumo, emitir la alerta y desconectar la salida.

El segundo grupo de pruebas se realizó para determinar la protección de cortocircuito. Todos los bombillos del banco fueron encendidos a la vez, la corriente de arranque registrada por el equipo supero los 37A lo que disparó la seguridad del equipo, emitiendo la alarma y desconectando la salida. Esta prueba se realizó repetidas veces y en todas las ocasiones la protección actuó adecuadamente.

3.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN.

En esta prueba el equipo fue instalado en la escuela de Ingeniería Eléctrica, en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo Electrónico (LIDE), donde se contaba con cuatro paneles fotovoltaicos marca Numen modelo DSM 150/12 y un banco de baterías marca Tudor modelo 7OPzS 490 LA-b en un arreglo de tensión nominal de 12V (ver Anexo N° 1 para las especificaciones de los paneles y las baterías).

Una vez conectado, se utilizó un equipo de adquisición de datos construido para esta prueba (ver Anexo N° 1 para la descripción del equipo). Se adquirieron datos del funcionamiento del cargador de baterías durante un día para obtener gráficas y observar su comportamiento.

En la gráfica de la Figura 33 se muestra el comportamiento del sistema, esta información se tomo un día parcialmente nublado por lo que se observan variaciones en a corriente de generación. Se puede observar como la tensión de la batería varia dependiendo de las condiciones de generación, esta característica es la que permite determinar cuando la batería esta próxima al fin de carga.

Se observa en la Figura 33 que para el final del día la corriente de generación decrece gradualmente, en éste momento el equipo queda en espera hasta que los paneles estén nuevamente en condiciones de generar.

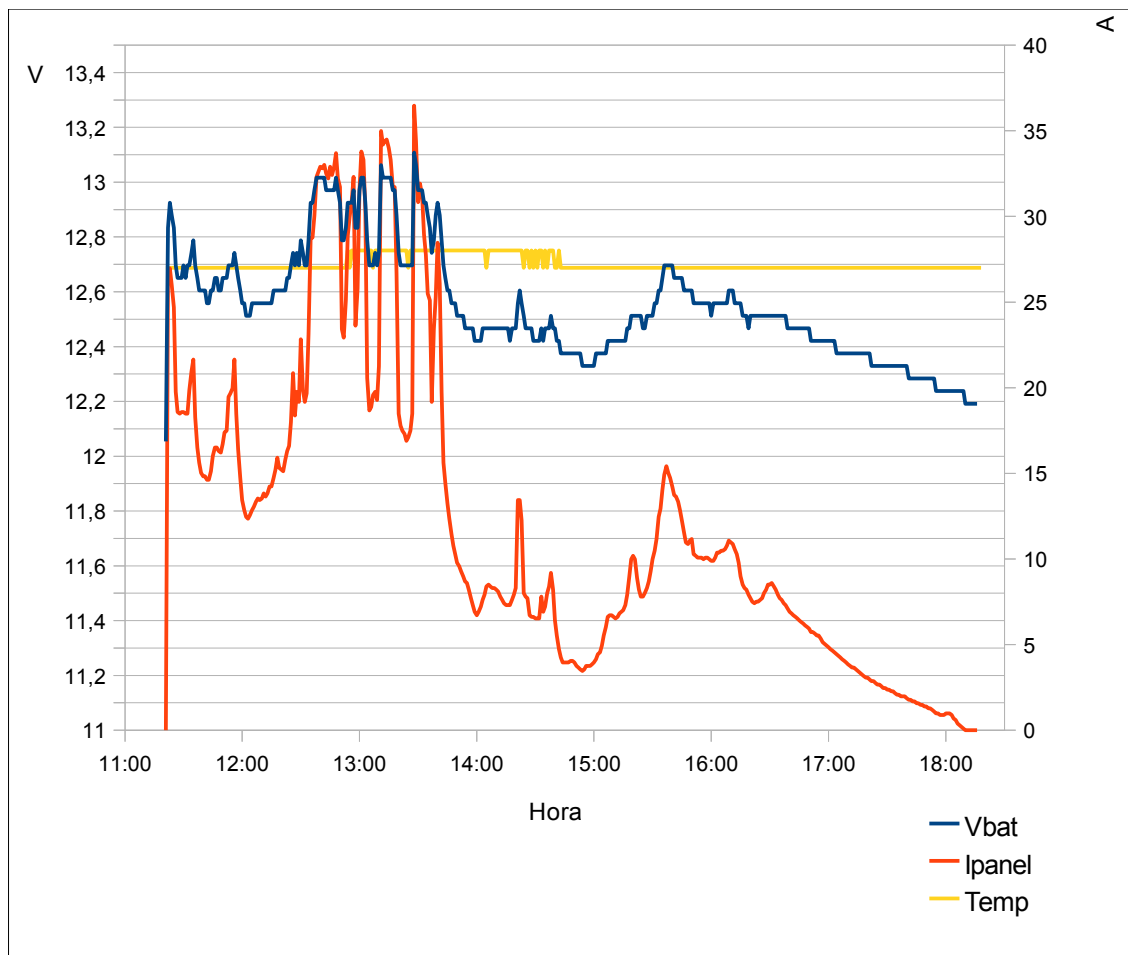


Figura 33: Gráfico de pruebas de funcionamiento 28-04-2011.

En la gráfica mostrada en la Figura 34 se observa como a medida que amanece la corriente de generación comienza a aumentar. Las variaciones en la corriente de generación se deben a periodos nublados. La tensión de las baterías aumenta desde un punto de reposo alcanzado durante la noche.

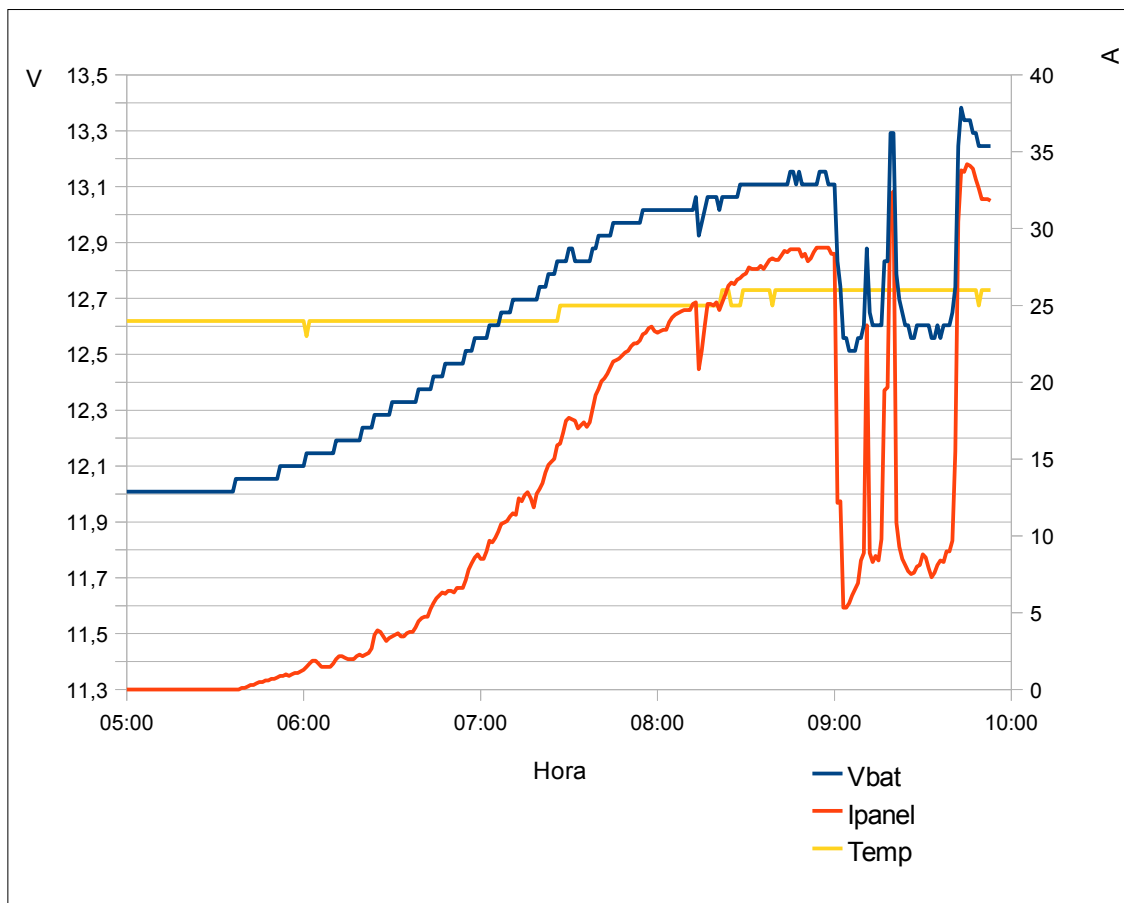


Figura 34: Gráfico de pruebas de funcionamiento 29-04-2011.

La gráfica mostrada en la figura 35 representa el comportamiento del equipo cuando la batería está próxima al fin de carga. Se observa como el equipo mantiene una tensión en la batería constante variando la corriente que es generada. Al alcanzar la carga máxima, determinado por el nivel de corriente, el equipo va al estado de flotación. Se observa en la gráfica el cambio de estado en la disminución abrupta de corriente donde el equipo espera que la tensión de la batería disminuya a la tensión de flotación.

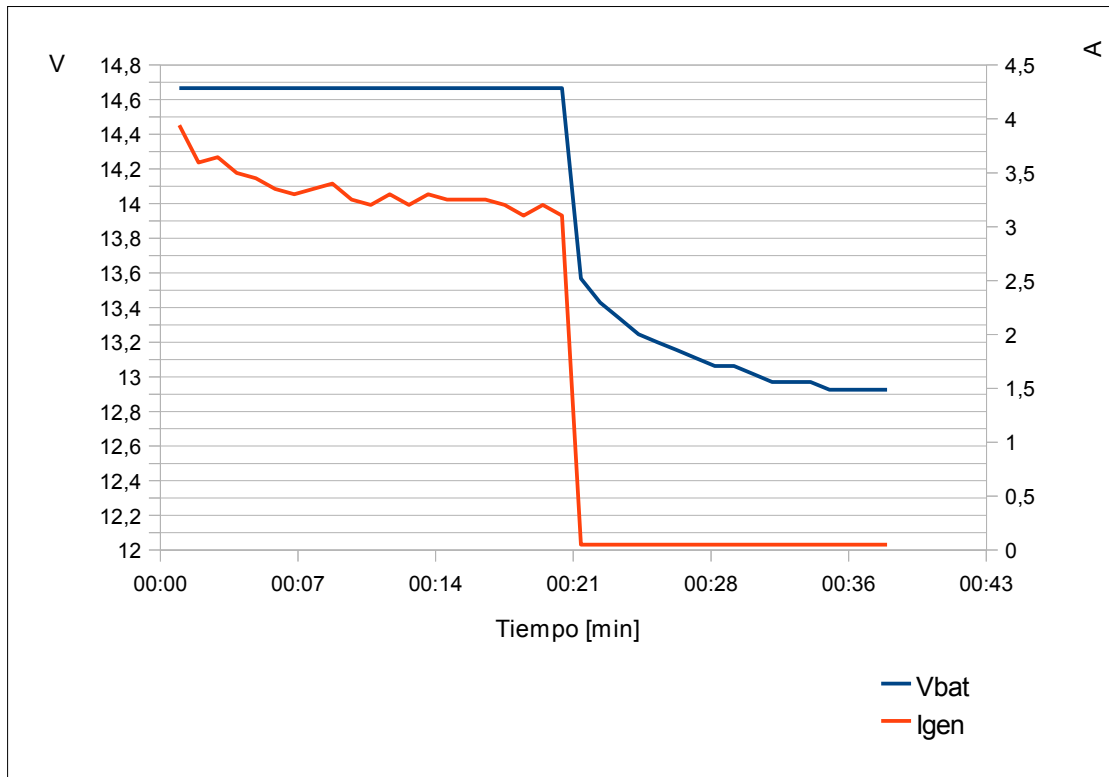


Figura 35: Gráfico de pruebas de funcionamiento fin de carga.

Esta prueba fue realizada con una batería SLI (automotriz) que se encontraba cercana al fin de carga, debido a que el banco de baterías usado en las pruebas anteriores se encontraban muy descargadas y con cierto deterioro por almacenaje prolongado. Tomando en cuenta la corriente de generación y la capacidad de las baterías del banco, llegar a la condición de fin de carga hubiese tomado varios días.

3.3 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.

Tabla 9 Especificaciones técnicas del equipo

Características	Valor
Físicas	
Ancho	168 mm
Alto	110 mm
Profundidad	75 mm
Peso	410 g
Caja	Aluminio
Terminales de conexión	Tornillo (máx. diámetro cable AWG 10)
Eléctricas	
Tensión nominal	12 V
Intensidad máxima de generación	30 A
Intensidad máxima de consumo (aplicación)	30 A
Sobrecarga admisible	25,00%
Consumo propio del equipo (sin backligh)	≈ 38 – 50 mA
Funcionales	
Tipo de regulación	Serie, controlado por microcontrolador con relé de estado solido. ON/OFF/PWM
Selección de batería	AGM/ SLI/ Tubular abierta/ Gel
Linea de sensing de batería	Si.
Etapas de carga	Carga profunda/ igualación/ flotación
Visualización del estado de carga	Si, mediante LEDs y LCD
Compensación por temperatura	Si, 5mV/°C (*)
Desconexión del consumo por baja tensión	Si, con reconexión automática
Alarmas locales mediante LCD, LEDs y acústico(**)	Tensión muy alta o baja, sobrecarga y cortocircuito, linea de sensing o nivel de batería erróneo, inversión de polaridad.
Indicador de estado de carga (LEDs)	Batería llena, media, vacía
Parámetros en LCD	Tensión de batería, valores instantáneos de potencia y corriente en generación y consumo, temperatura y estado de carga.
Protección de circulación de corriente a los paneles	Si, mediante diodo (MOSFET)
Protección contra polarización inversa	Si (linea de generación y batería)
Protección contra sobrecarga	Si, linea de consumo (25% mas de I nominal)
Protección contra cortocircuito	Si, linea de consumo
Protección contra sobretensiones	Si, mediante varistores.
Protección contra desconexión de linea de sensing	Si, visualización de error
Rango de temperatura de funcionamiento	0 – 50 °C

(*) mediante sonda interna

(**) acústico solo en inversión de polaridad

CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto se orientó al uso de sistemas fotovoltaicos, y sus aplicaciones más comunes. La definición de las tecnologías de baterías y la alimentación del equipo está fundamentada en los componentes de los sistemas fotovoltaicos que se encuentran disponibles en el mercado.

El estudio realizado sobre las tecnologías de baterías y de sus características de carga y descarga, permitieron definir cuales serían los métodos de carga y cuales son los parámetros necesarios para la adecuada carga y el correcto funcionamiento de las mismas.

Se logró diseñar y construir una etapa de potencia capaz de manejar $12V_{DC}$ y 30A en los canales de generación y de consumo. También se diseñó y construyó una etapa de control que, basado en información que adquiere del sistema, puede definir el método de carga, determinar si las baterías están en condiciones de recibir o entregar energía y tomar decisiones de protección cuando el sistema es sobrecargado o puesto en condición de cortocircuito en la línea de consumo.

Se verificó que es posible el uso de las impedancias presentes en las pistas como resistencias shunt para la medición de corriente y se verificó la validez de las fórmulas empleadas en el cálculo de dicha impedancia.

Se comprobó que es factible el uso de transistores MOSFET como diodos dependiendo de las condiciones de trabajo

Se diseñaron y construyeron interfaces de usuario que permiten la fácil interpretación del funcionamiento del equipo y del estado del sistema a parte de suministrar información que puede ser de utilidad para el usuario.

Las tarjetas de potencia control y de interfaz fueron colocadas en una caja que permiten el correcto funcionamiento de las partes y lo integran como un sólo equipo.

Los ensayos de laboratorio verifican que el sistema diseñado posee las características que se plantearon, y la prueba de funcionamiento continuo permiten observar el comportamiento del equipo bajo condiciones normales de funcionamiento y su desempeño durante la prueba.

La realización del proyecto soporta la construcción y desarrollo de tecnología en el país, permitiendo también la posibilidad de aumentar la implementación de sistemas de generación de energía alternativos tanto en la ciudad como en lugares donde la red eléctrica nacional no tiene alcance.

RECOMENDACIONES

Debido a que el equipo puede ser usado en estaciones remotas como estaciones meteorológicas o similares, donde el acceso al equipo puede que no sea fácil una vez instalado, el uso de una comunicación serial permitirá acceder a información del sistema fotovoltaico de manera remota y verificar el correcto funcionamiento de la estación. En el diseño de hardware fue contemplada esta posibilidad, simplemente con el diseño de alguna pequeña interfaz y la actualización del firmware del equipo se puede lograr la inclusión de la comunicación serial.

Al momento de la realización del prototipo, el microcontrolador utilizado se encontraba en fabricación y era de fácil adquisición. En la actualidad el microcontrolador 16F877A fue descontinuado por la casa Microchip. Sin embargo el uso de un microcontrolador más nuevo que sea compatible con el encapsulado del microcontrolador anterior es posible, solo debe ser actualizado el firmware para el nuevo microcontrolador que se desee usar.

Debido a la naturaleza de todas las tecnologías de baterías, los métodos de carga usados para cada una son similares, variando por lo general los métodos de terminación de carga. La forma en que fue diseñado el equipo y el aprovechamiento de los modelos de los paneles, es posible incluir nuevas tecnologías de baterías a las que ya el equipo puede manejar, esto permite que si en el futuro aparecen nuevos tipos de baterías en el mercado, con la actualización del firmware, el equipo pueda admitir este nuevo tipo sin la modificación de hardware.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Bishop, J. W. *Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits*, Varese: Italia, 1988. p.p 12-18
- [2]. *Cours solaire thermique* – INES Education. Savoie Technolac. Le Bourget du Lac. Francia. 2007 <<http://www.ines-solaire.com/solpv/page0.html>> p. 3-5
- [3]. Ramírez Vázquez, José; *Pilas y acumuladores maquinas de corriente continua*, (Libro). Barcelona: España: Ediciones CEAC s.a., 1981. p. 87-90
- [4]. Mitzner, Kraig. *Complete PCB design using OrCAD Capture and Layout* (Libro) . Oxford: Elsevier, 2007. p.p 151-152
- [5]. Mitzner, Kraig. *Complete PCB design using OrCAD Capture and Layout* (Libro) Oxford: Elsevier, 2007. p.p 75
- [6]. Milá de la Roca, J.M.; *Diseño de equipo electrónico*. , 2003 Caracas p. 640
- [7]. *OPzS Cell 2V 7 OPzS 490* (Hoja de características técnicas) Systems Sunlight S.A. Grecia. p. 1-2
- [8]. *OPzV Cell 2V 7 OPzV 490* (Hoja de características técnicas) Systems Sunlight S.A. Grecia. p. 1-2
- [9]. *VRLA Battery SVT500* (Hoja de características técnicas) Systems Sunlight S.A. Grecia. p. 1
- [10]. *Charging the lead-acid battery* Battery University. <http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery>
- [11]. *Universal Technical Standard for Solar Home Systems*, Thermie B SUP 995-96, EC-DG XVII, 1998. p.p 12-18
- [12]. *Methods of charging the Valve-Regulated Lead-Acid Battery*. Panasonic. 2005. p. 5

BIBLIOGRAFÍA

Ramírez Vázquez, José. Pilas y acumuladores maquinas de corriente continua, 4ta. Ed. Barcelona, España: Ediciones CEAC s.a., 1981.

Mitzner, Kraig. Complete PCB design using OrCAD Capture and Layout. Oxford: Elsevier, 2007.

Milá de la Roca, J.M. Diseño de equipo electrónico. Caracas, 2003

Universal Technical Standard for Solar Home Systems, Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998.

Methods of charging the Valve-Regulated Lead-Acid Battery. Panasonic. 2005.

How to design battery charger applications that require external microcontrollers and related system-level issues, Dallas semiconductor, Maxim. Marzo 2000.

Technical Handbook Valve-Regulated Lead-Acid Batteries. Italia: Fiamm-gs.

Manual de referencia: (Versión 3) Manual de instalación, uso y mantenimiento del regulador isoler 10/20/30 e isoler d 10/20/30, Málaga, Febrero 2005

INES Education. Savoie Technolac. [en línea]. <<http://www.ines-solaire.com/>> [Consulta: 2011]

Battery University. [en línea]<<http://batteryuniversity.com/>> [Consulta: 2011]

ANEXOS

[ANEXO N°1]
[Memoria descriptiva]

Diseño de bases e instalación de los paneles.

Para la realización del proyecto fue necesario el diseño de la bases de los paneles solares y su instalación en el techo del edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica Melchor Centeno V. de la UCV.

El primer diseño que se platea permite la manipulación de la posición y angulo con respecto al plano del suelo de los paneles. Éstas bases están diseñadas para colocarse en las afueras de la escuela para su fácil acceso y manipulación.

En la Figura A se muestra un plano de las bases.

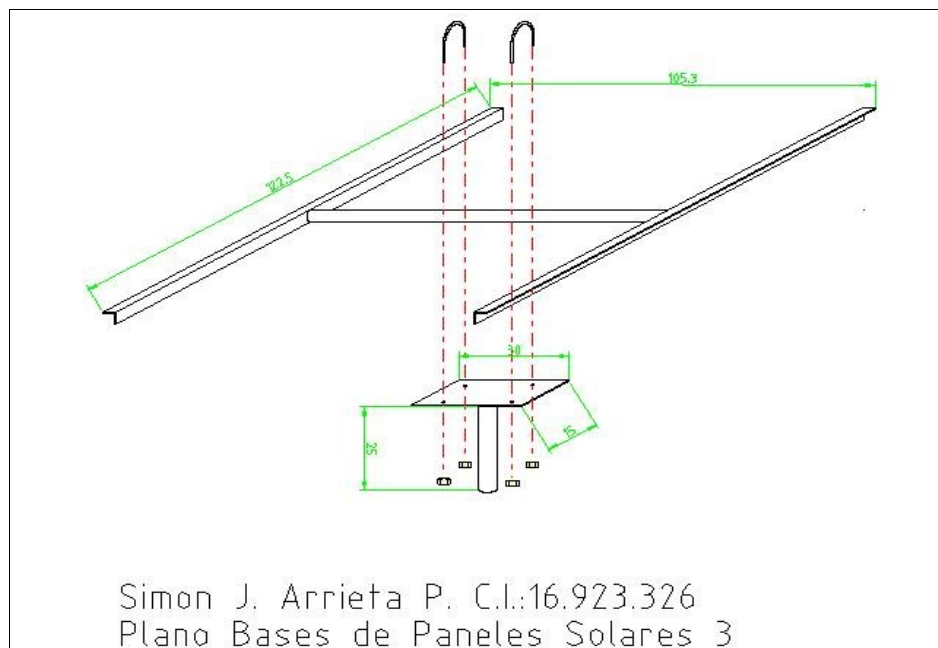


Imagen A: Paneles instalados

Para la colocación en el techo de los paneles se construyeron otro tipos de bases. Estas bases son fijas con un angulo de inclinación de 20° con respecto al plano del suelo con orientación norte. Se seleccionó este tipo de base por su rápida construcción y montaje.

En la Figura B se muestra los paneles solares instalados en el techo de la Escuela de Ingeniería eléctrica.



Figura B: Paneles instalados

Debido a que los paneles de marca Numen modelo DSM 150/12 poseen las siguientes características eléctricas:

- Máxima Potencia: 150 W
- Corriente de cortocircuito: 8,9 A
- Tensión de circuito abierto: 21,6 V
- Corriente de $P_{\text{máx}}$: 8,7 A
- Tensión de $P_{\text{máx}}$: 17,3 V

Ademas poseen diodos de “bypass” para protección de conexión en paralelo.

Los paneles se conectaron en paralelo para obtener un sistema fotoeléctrico de tensión nominal 12v con una corriente máxima de generación de 34,8 A. Características requeridas para las pruebas del equipo que se diseñó en el proyecto.

Adicionalmente se contó con un banco de 6 celdas marca Tudor modelo 7OPzS 490 LA-b. Estas se interconectaron para obtener un banco de baterías de tensión nominal 12 V y una capacidad de 490 Ah.

Diseño y construcción del data-logger.

Para poder obtener información del sistema fotovoltaico con el equipo diseñado funcionando fue necesario el diseño y construcción de un pequeño data-logger (unidad para adquisición y almacenaje de datos) que permitiera registrar las variaciones de los parámetros del sistema a lo largo del día.

En la Figura C se muestra un diagrama esquemático del equipo diseñado y construido.

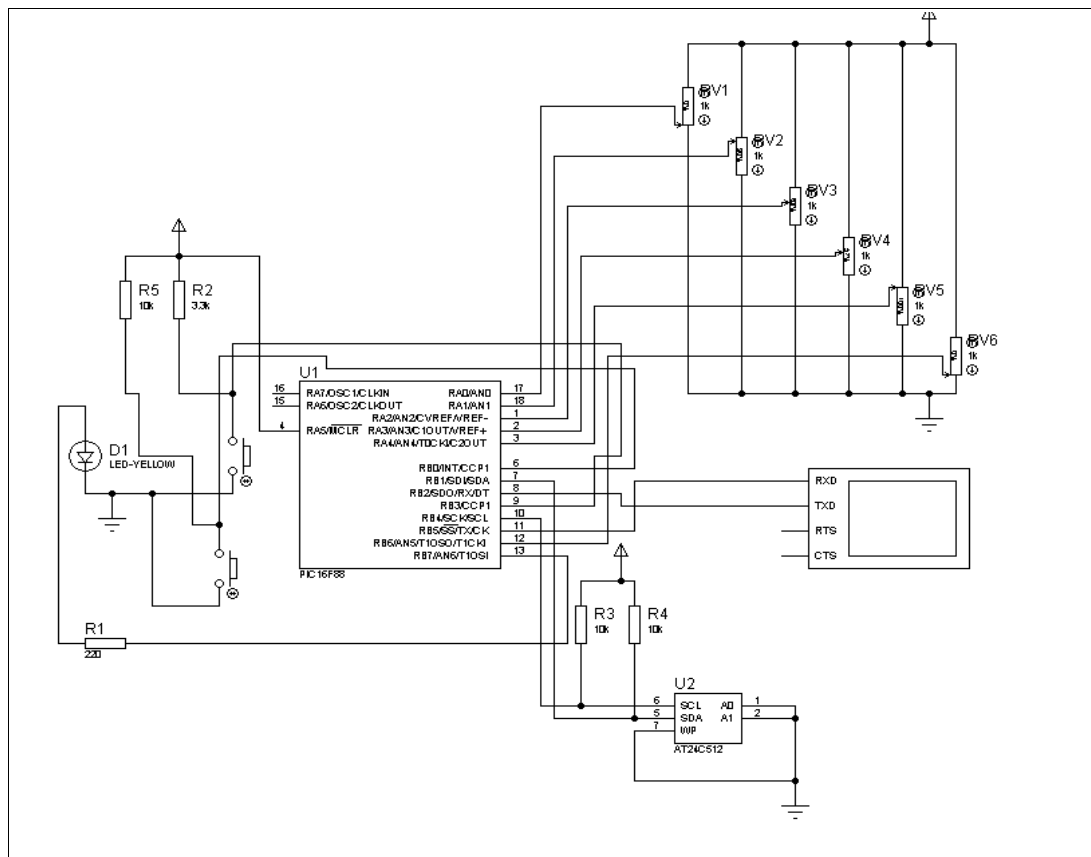


Figura C: Diagrama esquemático del Data-logger.

Para el funcionamiento del data-logger se desarrollo un software que permitiera al microcontrolador usado adquirir información de 6 canales distintos, fuesen almacenados en la memoria 24C512, y cuando fuese requerido al presionar un tecla la información fuese transferida a una computadora vía RS232 para su procesamiento con el uso de un programa de Hoja de Calculo.

[ANEXO N°2]

[Especificaciones técnicas de los instrumentos de medición]

Multímetro MASTECH modelo MG803R

Chapter 3 Specifications

General Specifications

Maximum voltage between terminals and earth ground: CAT. II 1000V DC or 750V AC RMS (Sine)

Display: 3 3/4 digit (4000 count) digital indication. Frequency Range: 9999 counts Max.

42 segment analog bar graph

Full annunciates, automatic polarity indication

Measuring rate: Digit 2 times per second

Analog bar graph 20 times second

Capacitance 1 time per second

Overrange indications: MSD (Most Signification Digit) Blinks

Low Battery Indication: The "E3" mark is displayed when the battery load voltage drops below accurate operating level.

Temperature Coefficient: $0.15 \times \text{Specified Accuracy per } ^\circ\text{C}$
<18°C or >28°C

Temperature: Operating 5°C to 35°C
Storage -10°C to 60°C

Resolution and Accuracy
DC Volts (mV DC)

Range	resolution	Accuracy (% rdg + digits)
400mV	0.1mV	$\pm(0.3\% \text{ rdg} + 5\text{d})$
4V	1mV	$\pm(0.3\% \text{ rdg} + 2\text{d})$
40V	10mV	$\pm(0.3\% \text{ rdg} + 2\text{d})$
400V	100mV	$\pm(0.3\% \text{ rdg} + 2\text{d})$
1000V	1V	$\pm(0.3\% \text{ rdg} + 2\text{d})$

Input Impedance: 10M Ω , <100PF

Overload Protection: 1000V DC or 750V AC RMS

AC Volts (true rms, ac-coupled)

Range	resolution	Accuracy (% rdg + digits)
4V	1mV	$\pm(0.8\% \text{ rdg} + 5\text{d})$ 50Hz to 60Hz $\pm(1.2\% \text{ rdg} + 5\text{d})$ 45Hz to 1kHz
40V	10mV	
400V	100mV	
750V	1V	

Input Impedance: 10M Ω , <100PF

Overload Protection: 1000V DC or 750V AC RMS

AC coupled True RMS responding

3-3

Test current: 0.6mA

Bench Multimeter
Users Manual

DC Current

Range	resolution	Accuracy (% rdg + digits)
4mA	1 μ A	$\pm(0.8\% \text{ rdg} + 5\text{d})$
40mA	10 μ A	$\pm(0.8\% \text{ rdg} + 5\text{d})$
400mA	100 μ A	$\pm(0.8\% \text{ rdg} + 5\text{d})$
10A (20A for 30 seconds)	10mA	$\pm(1.5\% \text{ rdg} + 10\text{d})$

Input Protection: F500mA / 250V fuse for mA input; F15A / 250V fuse for A input
Burden voltage: 600mV max. for mA input; 900mV max. for A input

AC Current

Range	resolution	Accuracy (% rdg + digits)
4mA	1 μ A	$\pm(1.5\% \text{ rdg} + 5\text{d})$ 45Hz to 400Hz
40mA	10 μ A	$\pm(1.5\% \text{ rdg} + 5\text{d})$ 45Hz to 400Hz
400mA	100 μ A	$\pm(1.5\% \text{ rdg} + 5\text{d})$ 45Hz to 400Hz
10A (20A for 30 seconds)	10mA	$\pm(2\% \text{ rdg} + 10\text{d})$ 45Hz to 400Hz

Input Protection: F500mA / 250V fuse for mA input; F15A / 250V fuse for A input
Burden voltage: 600mV max. for mA input; 900mV max. for A input
AC coupled True RMS responding

3-4

Input protection: 250V RMS

3-6

Multímetro UNI-T modelo U-55.

UNI-T

Model UT51-55: OPERATING MANUAL

A. Your Meters Feature

- 32 ranges.
- Liquid Crystal Display, digits height is 27mm.
- Overload display 1.
- Maximum display 1999 (3 1/2 digit).
- Full range overload protection.
- Auto-Power Off (For UT53, UT54 and UT55 ONLY).
- Temperature:
Operating: 0°C to 40°C (32 °F to 104 °F).
Storing: -10°C to 50°C (14 °F to 122 °F).
- Altitude:
Operating: 2000m
Storing: 10000m.
- Relative Humidity: Max. relative humidity 80% for temperature up to 31°C decreasing linearly to 50% relative humidity at 40°C.
- Low Battery display "LO".
- Battery Type: 9V NEDA 1604 or 6F22 or 006P
- Strap for easy carry.
- Tilt stand design, three observation angles, is in favor of reading display.
- Dimension: 190mm x 88mm x 34mm.
- Weight: Meter only(excluding test leads) about 270g .Meter + holster + tilt stand about 550g.

UNI-T

Model UT51-55: OPERATING MANUAL

B. Specifications

Accuracy is specified for one year after calibration, at operating temperatures 23°C +/- 5°C, with relative humidity at < 75%. Accuracy specifications take the form of: +/- (a% readings + digits)

B-1 Direct Current Voltage (DC Voltage)

Range	Resolution	Accuracy				
		UT51	UT 52	UT53	UT54	UT55
200mV	100µV	± (0.5% +1)				
2V	1mV					
20V	10mV					
200V	100mV	± (0.8% +2)				
1000V	1V					

△ **Input impedance:** All ranges are 10MΩ.

Overload protection: 200mV is 250VDC or AC RMS. All other ranges is 750Vrms or 1000Vp-p.

B-2 Alternating Current Voltage (AC Voltage)

Range	Resolution	Accuracy				
		UT51	UT 52	UT53	UT54	UT55
200mV	100µV	±(0.8% +3)				
2V	1mV					
20V	10mV					
200V	100mV	±(1.2% +3)				
750V	1V					

△ **Input impedance:** All ranges are 10MΩ.

Frequency: 40Hz-400Hz.

Overload protection: 200mV is 250VDC or AC RMS. All other ranges is 750Vrms or 1000Vp-p.

Display: Average Value (RMS of Sine Wave).

B-3 Direct Current Current (DC Current)

Range	Resolution	Accuracy				
		UT51	UT52	UT53	UT54	UT55
20μA	0.01μA	±(2%+5)	---	---	---	---
200μA	0.1 μA	±(0.8%+1)	---	---	---	---
2mA	1 μA	±(0.8%+1)				
20mA	10μA					
200mA	100 μA	±(1.5%+1)				
2A	1mA	±(1.5%+1)	---	---	---	---
10A	10mA	±(2%+5)	---	---	---	---
20A		---	±(2%+5)			

⚠ Overload protection:

For UT51:

2A, 250V fast acting fuse, φ5x20mm(below 2A range)

10A, 250V fast acting fuse, φ5x20mm(at 10A range)

For UT52/53/54/55:

315mA, 250V fast acting fuse, φ5x20mm (No fuse at 20A range).

Max current input :

For UT51: 10A (The measurement time for high current should be less than 10 seconds maximum, and the interval time between two measurements should be greater than 15 minutes.

For UT52/53/54/55: 20A (The measurement time for high current should be less than 15 seconds maximum, and the interval time between two measurements should be greater than 15 minutes.

B-4 Alternating Current Current (AC Current)

Range	Resolution	Accuracy				
		UT51	UT52	UT53	UT54	UT55
200μA	0.1μA	±(1.8%+3)	---	---	---	---
2mA	1μA	±(1%+3)	---	---	---	---
20mA	10μA	±(1%+3)				
200mA	100 μA	±(1.8%+3)				
2A	1mA	±(1.8%+3)	---	---	---	---
10A	10mA	±(3%+7)	---	---	---	---
20A		---	±(3%+7)			

⚠ Overload protection:

For UT51:

2A, 250V fast acting fuse, φ5x20mm(below 2A range)

10A, 250V fast acting fuse, φ5x20mm(at 10A range)

For UT52/53/54/55:

315mA, 250V fast acting fuse, φ5x20mm (No fuse at 20A range).

Max current input :

For UT51: 10A (The measurement time for high current should be less than 10 seconds maximum, and the interval time between two measurements should be greater than 15 minutes.

For UT52/53/54/55: 20A (The measurement time for high current should be less than 15 seconds maximum, and the interval time between two measurements should be greater than 15 minutes.

Measuring voltage drop: Full range is 200mV.

Display: Average Value (RMS of Sine Wave) .

B-5 Resistance

Range	Resolution	Accuracy				
		UT51	UT 52	UT53	UT54	UT55
200Ω	0.1Ω	±(0.8%+3)				
2KΩ	1Ω					
20KΩ	10Ω					
200KΩ	100Ω					
2MΩ	1KΩ	±(0.8%+1)				
20MΩ	10KΩ					
200MΩ	100KΩ	±(1%+2)				
		±[5%(-10)+10]				

⚠ **Voltage at open circuit:** ≤700mV (200MΩ range, open circuit voltage around 3V).

Overload protection: All ranges 250VDC or AC RMS.

Caution: At 200MΩ range, as test lead is short circuit the LCD display 10 digits is normal, deduct the 10 digits from the measured reading during measuring.

B-6 Capacitance

Range	Resolution	Accuracy				
		UT51	UT 52	UT53	UT54	UT55
2nF	1pF	---		±(4%+3)		
20nF	10pF					
200nF	100pF					
2μF	1nF					
20μF	10nF					

⚠ **Testing signal:** around 400Hz 40mVrms

B-7 Frequency

Range	Resolution	Accuracy				
		UT51	UT52	UT53	UT54	UT55
2kHz	1Hz	---		±(2%+5)	---	
20kHz	10Hz					

⚠ **Input sensitivity:** ≤100mVrms.
Overload protection: 250Vrms.

B-8 Temperature

Range	Resolution	Accuracy		
		UT51,52,53	UT53	UT55
-20°C to 1000°C	-20°C to 0°C 0°C to 400°C 400°C to 1000°C	1°C	---	±(5%+3) ±(1%+3) ±2%

B-9 Diode Test and Continuity Beeper

Range	Comment	Measuring Condition
→	Display diode forward-voltage near value, Unit "mV"	Forward DC current abt 1mA Backward DC voltage abt 2.8V
→)	Beeper sounds if Continuity Resistance ≤ 70Ω. Display near value. Unit "Ω"	Voltage at open circuit abt 2.8V

⚠ **Overload protection:** 250V DC or AC RMS.

B-10 Transistor hFE test

Range	Comment	Measuring Condition
hFE	Can measure NPN or PNP transistor hFE. Range: 0-1000β	Basic polarity current abt 10μA, Vce abt 2.8V

[ANEXO N° 3]

[Manual del cargador de baterías]

[ANEXO N° 4]

[Firmware del cargador de baterías (V 1.1)]

```

#include <16F877A.h>
#define adc=10

// #include <string.h>

// FUSES NOWDT //No Watch Dog Timer
// FUSES HS //High speed Osc (> 4mhz)
// FUSES NOPUT //No Power Up Timer
// FUSES NOPROTECT //Code not protected from reading
// FUSES NODEBUG //No Debug mode for ICD
// FUSES NOBROWNOUT //No brownout reset
// FUSES NOLVP //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
// FUSES NOCPD //No EE protection
// FUSES WRT_50% //Lower half of Program Memory is Write Protected

// use delay(clock=20000000)
// use
rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#include <LCD.C>

int estado=30,tipbat=0,tecl=0,pana=0,err,tled=0,aux, tmin=100,
tmax=0;
float Vbat,Ig,Ic,temp;
float
lvlcrit,lvlydes,lvlmcar,lvlesta,lvlrref,lvlmcri,lvlbajo,lvfloat,cttV
1,cttI1,cttI2,lvfloat2,lvlmcri2,lvlmcar2;
int I6 b, sobc=0;
int I6 rpwm=0;
int I flag=0, flagp=0;

void men(void);
void config(void);
void teclas(void);
int I6 captura (int canal);
float convvol(int I6 val, float ctte);
float convtem(int I6 val);
void actual(void);
void pantalla(void);
void leds(void);
void seleccion(void);

// int_RTCC
void RTCC_isr(void)
{
    flag=1;
    //seleccion();
}

// INT_EXT
void ext_isr()
{
    aux=estado;
    estado=8;
}

void main()
{
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN4_VSS_VREF);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

    setup_psp(PSP_DISABLED);
    // setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256);
    SET_TIMER0(200);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);
    lcd_init();
    enable_interrupts(INT_RTCC);
    enable_interrupts(INT_EXT);
    EXT_INT_EDGE(H_TO_L);
    enable_interrupts(GLOBAL);

    // TODO: USER CODE!!
    port_b_pullups (TRUE);

    estado=0;
    b=0;
    config();

    while(1)
    {
        teclas();

        if (flag)
        {
            if (estado!=0)
            {
                actual();
                pantalla();
                leds();
            }
            seleccion();
            flag=0;
        }

        if (tecl==2)
        {
            estado=0;
            tecl=0;
        }
        /* if (tsal==1)
        {
            i=1;
            tsal=0;
        }
        */

    }

    //*****

    void actual(void) //actualiza los parametros de medicion
    {
        Ig=convvol(captura(1),cttI1);
        Vbat=convvol(captura(0),cttV1);
        Ic=convvol(captura(2),cttI2);
        temp=convtem(captura(4));
        if (temp>tmax)
        {
            tmax=temp;
        }
        if (temp<tmin)
        {
            tmin=temp;
        }
        lvlmcri=lvlmcri2 - 0.005*(temp-25.00);
        lvlmcar=lvlmcar2 - 0.005*(temp-25.00);
        lvfloat=lvfloat2 - 0.005*(temp-25.00);
    }
}

```

```
/**-----**/
```

```
int16 captura (int canal) //funcion captura de un canal de
ADC y entrega valor promedio
```

```
{ int h;
  int16 z;
  int32 y=0;
  set_adc_channel(canal);
  delay_ms(1);
  for (h=0;h<5;h++)
  {y=y + read_adc();
   delay_ms(1);
  }
  z=y/5;
  return z;
}
```

```
}
```

```
/**-----**/
```

```
void men(void)
```

```
{
  if (tecl==3)
  {
    if (tipbat==0)
    {tipbat=5;
     }
    tipbat--;
    tecl=0;
    b=201;
  }

  if (tecl==4)
  { tipbat++;
    if(tipbat>4)
    {tipbat=0;
     }
    tecl=0;
    b=201;
  }
  if (tecl==1)
  { tecl=0;
    b=400;
  }
  if (b==200)
  {printf(lcd_putc,"\fSelec. Tip Bat:\n");}
}
```

```
switch(tipbat)
```

```
{
  case 0:
  {
    printf(lcd_putc,"\r Auto\n");
  }
  break;
}
```

```
case 1:
```

```
{
  printf(lcd_putc,"\r SLI\n");
}
break;
```

```
case 2:
```

```
{
  printf(lcd_putc,"\r AGM\n");
}
break;
```

```
case 3:
```

```
{
  printf(lcd_putc,"\r Gel\n");
}
break;
```

```
case 4:
```

```
{
  printf(lcd_putc,"\rTub. Abierta\n");
}
break;
```

```
default:
```

```
{
}
```

```
}
```

```
/**-----**/
```

```
void config(void)
```

```
{
  switch(tipbat) // Calibracion de parametros de nivel segun tipo
de bateria
```

```
{
  case 0:
  {
    lvlmcri=14.90; //tension alta maxima
    lvlmcar=14.40; // segun datasheet
    lvlfloat=13.50; //flotación
    lvlbajo=11.90; //tension baja
    lvlcrit=11.60; //tension de desconexion
  }
  break;
```

```
case 1:
```

```
{
  lvlmcri=15.20; //tension alta maxima
  lvlmcar=14.70; // segun datasheet
  lvlfloat=13.80; //flotación
  lvlbajo=11.90; //tension baja
  lvlcrit=11.60; //tension de desconexion
}
break;
```

```
case 2:
```

```
{
  lvlmcri=14.90; //tension alta maxima
  lvlmcar=14.40; // segun datasheet
  lvlfloat=13.50; //flotación
  lvlbajo=11.80; //tension baja
  lvlcrit=11.10; //tension de desconexion
}
break;
```

```
case 3:
```

```
{
  lvlmcri=14.90; //tension alta maxima
  lvlmcar=14.10; // segun datasheet
  lvlfloat=13.50; //flotación
  lvlbajo=11.80; //tension baja
  lvlcrit=11.10; //tension de desconexion
}
break;
```

```
case 4:
```

```

    {
        lvlmcri=15.20; //tension alta maxima
        lvlmcar=14.40; // segun datasheet
        lvlfloat=13.40; //flotación
        lvlbajo=11.80; //tension baja
        lvlcrit=11.10; //tension de desconexion
    }
    break;

    default:
    {
    }
}
lvlmcri2=lvlmcri;
lvlmcar2=lvlmcar;
lvlfloat2=lvlfloat;
lvlvdes=9.00;
lvlesta=12.72;
lvlrref=12.60;
cttV1=3.38; //constantes de ganancia de los ADC
cttI1=9.15;
cttI2=10.08; //constantes de corriente ajustadas a pistas

actual();
printf(lcd_putc, "f Vbat: %f\n", Vbat);
printf(lcd_putc, " Temp: %f\n", temp);
}

/**-----*/

void teclas(void)
{
    if(!input(PIN_B1))
    {
        delay_ms(20);
        while (!input (PIN_B1));
        tecl=2;
    }

    if(!input(PIN_B2))
    {
        delay_ms(20);
        while (!input(PIN_B2));
        tecl=1;
    }

    if(!input(PIN_B4))
    {
        delay_ms(20);
        while (!input(PIN_B4));
        tecl=3;
    }

    if(!input(PIN_B5))
    {
        delay_ms(20);
        while (!input(PIN_B5));
        tecl=4;
    }
}

/**-----*/

float convvol(int16 val, float ctte) // funcion retorna un valor
de tension a partir de valor de ADC 10bit
{ float valor;

    valor=((val*5.0)/1024.0)*ctte; //ctte es la ganancia del
disositivo previo al ADC
    return valor;
}

/**-----*/

float convtem(int16 val) //funcion retorna temperatura en °C a
partir de valor de ADC 10bit para un lm35
{ float tem;

    tem=(((((val*5.0)/1024.0)*298.0)/2.99)-273.0; //el resultado
esta calibrado para un valor de tension de 2.99V a 25°C
    return tem;
}

/**-----*/

void pantalla(void) // Actualiza pantalla ciclica (incluye
movimiento de pantallas con teclas)
{
    float p;
    int cbat=0, panl=6;

    b++;

    if (tecl==3)
    {
        if (pana==0)
        {pana=5;
        }
        pana--;
        panl=pana;
        tecl=0;
        b=0;
    }

    if (tecl==4 || b>200)
    {
        pana++;
        if(pana>4)
        {pana=0;
        }
        panl=pana;
        tecl=0;
        b=0;
    }

    if(flagp==1 && b>100)
    {
        panl=5;
        flagp=0;
        b=0;
    }

    else if (flagp==0 && Vbat<lvlbajo && b>100)
    {
        flagp=1;
        b=0;
    }

    if (estado==1 || estado==2)
    {cbat=(100/(12.66-lvlcrit))*(Vbat-lvlcrit);
    }
    else if (estado==3 || estado==4 || estado==5)
    {cbat=(100/(lvlmcar-lvlcrit))*(Vbat-lvlcrit);
    }
}

```

```

else if(estado==6)
{
    cbat=100;
}

switch(pan1)
{
    case 0:
    { printf(lcd_putc, "\f Vbat: %f\n", Vbat);
      printf(lcd_putc, " Tip. Bat: %i %i\n", tipbat, estado);
    }
    break;

    case 1:
    { printf(lcd_putc, "\f Cbat: %i \n", cbat);
      printf(lcd_putc, " Fase carga: %i\n", estado);
    }
    break;

    case 2:
    { printf(lcd_putc, "\f Igen: %f\n", Ig);
      p=Vbat*Ig;
      printf(lcd_putc, " Pgen: %f %i\n", p, estado);
    }
    break;

    case 3:
    { printf(lcd_putc, "\f Icon: %f\n", Ic);
      p=Vbat*Ic;
      printf(lcd_putc, " Pcon: %f %i\n", p, estado);
    }
    break;

    case 4:
    {
      printf(lcd_putc, "\f Temp: %f °C\n", temp);
      printf(lcd_putc, " Tmin: %i Tmax: %i\n", tmin, tmax);
    }
    break;

    case 5:
    {
      printf(lcd_putc, "\f BATERIA BAJA\n");
      pan1=pana;
    }
    break;

    default:
    {}
}

}

/**-----**/

void leds(void)
{
    tled++;
    if (estado == 6)
    { OUTPUT_HIGH(PIN_C3);
      OUTPUT_HIGH(PIN_C4);
      OUTPUT_HIGH(PIN_C5);
    }
    if (estado == 5)
    { if (tled>100)
      { OUTPUT_TOGGLE(PIN_C3);
      }
    }

    OUTPUT_HIGH(PIN_C4);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C5);
}

if (estado == 3)
{ if (tled>100)
  { OUTPUT_TOGGLE(PIN_C4);
    OUTPUT_LOW(PIN_C3);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C5);
  }
}

if (estado == 2 || estado==4)
{ if (tled>100)
  { OUTPUT_TOGGLE(PIN_C5);
    OUTPUT_LOW(PIN_C3);
    OUTPUT_LOW(PIN_C4);
  }
}

if (estado == 1)
{ if (Vbat>vlrref)
  { OUTPUT_HIGH(PIN_C3);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C4);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C5);
  }
  else if (Vbat>vlbajo && Vbat<vlrref)
  { OUTPUT_LOW(PIN_C3);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C4);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C5);
  }
  else if (Vbat<vlbajo)
  { OUTPUT_LOW(PIN_C3);
    OUTPUT_LOW(PIN_C4);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C5);
  }
}

if (estado == 7 || estado==8 || estado==10)
{ if (tled>100)
  { OUTPUT_TOGGLE(PIN_C3);
    OUTPUT_TOGGLE(PIN_C4);
    OUTPUT_TOGGLE(PIN_C5);
  }
}

if (tled>100)
{ tled=0; }

}

/*****
void seleccion (void)
{
    switch (estado)
    {
        case 0: //inicialización
        {
            OUTPUT_HIGH(PIN_C1); //salidas se desactivan en
            OUTPUT_HIGH(PIN_C2); //salidas se desactivan en
            OUTPUT_HIGH(PIN_C3);
            OUTPUT_HIGH(PIN_C4);
            OUTPUT_HIGH(PIN_C5);
            OUTPUT_HIGH(PIN_A4);
            b++;
            if (b==1)
            { printf(lcd_putc, "\f Simon Arrieta \n");
              printf(lcd_putc, "C Solar fir v1.3\n");
            }
            else if (b>=200 && b<=400)
            { men();
            }
            else if (b>=400)
            {
            }
            }
    }
}
*****/

```

```

    config();
    if (Vbat<=lvlvdes) //inicio de chequeo de bat
    {
        estado=10;
        err=15; //bateria muy descargada
    }
    if (Vbat>lvlvdes && Vbat<=lvlcrit)
    {
        estado=2; //bat ok, bajo nivel critico ir a ID2
    }
    if (Vbat>lvlcrit && Vbat<=lvlmcri)
    {
        estado=1; //ir a ID1
    }
    if (Vbat>lvlmcri)
    {
        estado=10;
        err=25; //tension bateria muy alta
    }
}
break;

case 1: //Idle1: en espera de sol, salida activa.
{
    OUTPUT_HIGH(PIN_C1); //panel off en alto
    OUTPUT_LOW(PIN_C2); //salida ON en bajo

    // actual();
    // pantalla();
    // leds();

    if (Vbat<=lvlvdes) //inicio de chequeo de bat
    {
        estado=10;
        err=15; //bateria muy descargada
    }
    if (Vbat>lvlvdes && Vbat<=lvlcrit)
    {
        estado=2; //bat ok, bajo nivel critico ID2
    }
    if (input (PIN_B3)) //comparador en alto si hay sol
    {
        estado=3; //sol ok, ir a carga ir a CC1
    }
    if (Ic>30.0) //sobrecarga en salida ir a SC
    {
        aux=estado;
        estado=7;
    }
}
break;

case 2: //Idle2: en espera de sol, salida off.
{
    OUTPUT_HIGH(PIN_C1); //panel off en alto
    OUTPUT_HIGH(PIN_C2); //salida OFF en bajo

    //actual();
    //pantalla();
    //leds();

    if (Vbat<=lvlvdes) //inicio de chequeo de bat
    {
        estado=10;
        err=15; //bateria muy descargada
    }

    if (input (PIN_B3)) //comparador en alto si hay sol
    {
        estado=4; //sol ok, ir a carga CC2
    }
}
break;

case 3: // Carga por corriente: salida on, panel on
{
    OUTPUT_LOW(PIN_C1); //panel ON en bajo
    OUTPUT_LOW(PIN_C2); //salida ON en bajo

    //actual();
    //pantalla();
    //leds();

    if (Vbat>lvlvdes && Vbat<=lvlcrit)
    {
        estado=4; //bat ok, bajo nivel critico ID2
    }
    if (Ig<0.45) //sol insuficiente, ir a ID1
    {
        estado=1;
    }
    if (Vbat>lvlmcar)
    {
        setup_ccp2(CCP_PWM); // Configure CCP2 (rc1
        // o panel) as a PWM antes de ir a estado 5
        setup_timer_2(T2_DIV_BY_16, 127, 1); //
        (1/1000000)*4*16*128= 409.6 us or 2.4 khz
        rpwm=0;
        set_pwm2_duty(rpwm); //deja el valor de bajo
        // todo el tiempo, lo que deja encendido el panel
        estado=5; //Fin carga corriente, ir a carga ir a CT
    }
    if (Ic>30.0) //sobrecarga en salida ir a SC
    {
        aux=estado;
        estado=7;
    }
}
break;

case 4: // Carga por corriente: salida off, panel on
{
    OUTPUT_LOW(PIN_C1); //panel ON en bajo
    OUTPUT_HIGH(PIN_C2); //salida OFF en alto

    //actual();
    //pantalla();
    //leds();

    if (Ig<0.45) //sol insuficiente, ir a ID2
    {
        estado=2;
    }
    if (Vbat>lvlesta)
    {
        estado=3; //se alcanzo nivel estable, ir a 3
    }
}
break;

case 5: //Carga tension ctte o igualacion
{
    OUTPUT_LOW(PIN_C2); //salida ON en bajo

    //actual();
    //pantalla();
    //leds();

    rpwm = rpwm + (Vbat-lvlmcar)*10;
    if (rpwm>65500)
    {
        rpwm=0;
    }
    if (rpwm>512 && rpwm<65500)
    {
        rpwm=512;
    }
    set_pwm2_duty(rpwm);
}

```

```

        if (Vbat<VlIrref)
        {estado=3; //tension por debajo de referencia, se
reinicia carga a corriente CC1
        setup_ccp2(CCP_OFF);
        setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
        }
        if (Ig<0.45) //sol insuficiente, ir a ID1
        {estado=1;
        setup_ccp2(CCP_OFF);
        setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
        }
        if (Ig<2.0)
        {estado=6; //Fin carga tension, ir a carga ir a Float
        }
        if (Ic>30.0) //sobrecarga en salida ir a SC
        {aux=estado;
        estado=7;
        setup_ccp2(CCP_OFF);
        setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
        }
    }
    break;

case 6: //flotacion
{

    OUTPUT_LOW(PIN_C2); //salida ON en bajo

    //actual();
    //pantalla();
    //leds();

    rpwm = rpwm + (Vbat-Vlfloat)*10;
    if (rpwm>65500)
    {rpwm=0;}
    if (rpwm>512 && rpwm<65500)
    {rpwm=512;}
    set_pwm2_duty(rpwm);

    if (Vbat<VlIrref)
    {estado=3; //tension por debajo de referencia, se
reinicia carga a corriente CC1
    setup_ccp2(CCP_OFF);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    }
    if (Ig<0.45) //sol insuficiente, ir a ID1
    {estado=1;
    setup_ccp2(CCP_OFF);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    }

    if (Ic>30.0) //sobrecarga en salida ir a SC
    {aux=estado;
    estado=7;
    setup_ccp2(CCP_OFF);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    }
}
break;

case 7: //sobre carga... espera un tiempo (aproximadamente
5 seg por timer)
{
    //actual();
    //pantalla();
    //leds();

```

```

sobc++;

if (sobc>100)
{
    if (Ic>30.0) //sobrecarga en salida mucho tiempo a
corto C
    { estado=8;
    sobc=0;
    }
    else if (Ic<30.0) //sobrecarga bajo en tiempo regresar
estado previo.
    {estado=aux;
    sobc=0;
    }
}

}
break;

case 8: //manejo de cortocircuito
{
    OUTPUT_HIGH(PIN_C1);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C2); //salidas apagadas

    //actual();
    //pantalla();
    //leds();
    sobc++;
    if (sobc>3000) //el sistema espera 2 minutos para
reactivar
    {estado=0;
    sobc=0;
    }
}
break;

case 10: //estado de error
{
    //leds();

    OUTPUT_HIGH(PIN_C1);
    OUTPUT_HIGH(PIN_C2); //salidas apagadas

    printf(lcd_putc,"\fERROR EN BATERIA\n");
    printf(lcd_putc," Error: 0%i\n",err); //bateria muy
descargada
    sobc++;
    if (sobc>1500) //el sistema espera 1 minutos para reactivar
    {estado=0;
    sobc=0;
    }
    break;
}

default:
{
    break;
}
}

```