

DISEÑO DE UN CARGADOR DE BATERIA LI-ION PARA OBTENER LA MAXIMA POTENCIA DE UN PANEL SOLAR

por

Jesús Alejandro Saucedo García

Presentado a la academia de Sistemas Digitales y Comunicaciones
del Instituto de Ingeniería y Tecnología de
La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
para su evaluación

LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Octubre del 2009

TITULO DEL PROTOCOLO DE TITULACIÓN

Alejandra Mendoza
Presidente de la academia

Jesús Rodarte Dávila
Asesor

Alejandro Saucedo
Alumno

Introducción

En el mundo de la tecnología portátil, que hoy en día ocupa varias de nuestras actividades cotidianas desde hablar por teléfono celular, escuchar música en un reproductor portátil, utilizar una cámara digital, trabajar con una laptop, entre muchas cosas mas; es importante tener siempre en cuenta un factor, la batería; que en la mayoría de la veces esta constituida por Iones de Litio (Li-Ion). Este tipo de batería es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito, una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.

En estos tiempos donde el suministro de energía eléctrica esta por entrar en un momento de escasez, es importante pensar que para cualquier actividad que requiera alguna fuente de energía podemos considerar la energía solar para su utilización, como el cargar una batería de Li-Ion, obteniendo la máxima eficiencia de la potencia proporcionada por un panel Solar.

En la mayoría de las aplicaciones, es deseable obtener la máxima potencia de una celda solar, sin embargo la potencia disponible de un panel solar es altamente dependiente del medio ambiente.

El panel solar dependiendo de su tamaño comprende de un número de celdas de silicio en serie, que a su vez determina también la cantidad de corriente, para el panel que usaremos se compone de 28 celdas. Su comportamiento es el de una fuente de voltaje limitada por corriente.

La máxima potencia del panel solar para cargar una batería de Li-Ion puede ser logrado regulando el voltaje del sistema alrededor del Punto Máximo de Potencia (MPP) a través de la reducción de corriente de carga cuando la demanda total de corriente del sistema y la carga de la batería excede la capacidad de corriente de salida del panel solar. La arquitectura de control de potencia del sistema y la carga de la batería son elementos críticos para diseñar un sistema confiable impulsado por el panel solar [2]. Existen varios métodos para monitorear el MPP para un sistema de panel solar. Estos regularmente son bastantes complejos, en algunos casos son sensibles al costo, sin embargo, un esquema de seguimiento al punto MPP muy preciso, no es necesario. Se propone una solución de bajo costo el cual puede actuar cerca del 90% de la energía disponible, que todo lo que se requiere.

Antecedentes

La energía solar es una fuente de energía atractiva para impulsar dispositivos portátiles. Desde hace algún tiempo, extensamente ha sido usada en usos como calculadoras y naves espaciales. Más recientemente, la energía solar está siendo considerada para una mucha más amplia gama de usos del consumidor, incluyendo cargadores de teléfono móvil. Sin embargo, la potencia disponible de un panel solar es muy dependiente del medio ambiente. Esto incluye tales cosas como la intensidad de luz, el tiempo y la posición, etc. Por lo tanto, las pilas típicamente son usadas como elementos de almacenaje de energía. Ellas pueden ser usadas cuando la potencia suplementaria está disponible del panel solar, así como impulsar el sistema cuando la potencia disponible del panel solar es insuficiente.

Para establecer los parámetros necesarios para el diseño de un cargador de baterías de Ion de Litio (Li-Ion) sacando el máximo partido del panel solar y de manera eficiente cargar una batería de Li-Ion, es necesario primeramente hablar de las principales características de operación eléctrica y de salida del panel solar. Entonces, cubriremos exigencias del sistema de carga de la batería para hacer compatible las características de las celdas solares para conseguir la potencia máxima del panel solar [3].

La fuente de poder de un panel solar es considerada una fuente de voltaje "limitada por corriente". La Potencia máxima del panel solar para cargar una batería de Li-Ion puede ser alcanzada regulando el voltaje del bus del sistema alrededor del MPP por la reducción de corriente de carga, cuando la demanda total de corriente del sistema y la carga de la batería excede la capacidad de corriente de salida del panel solar. La potencia del sistema y la carga de batería así como la arquitectura de control de potencia son elementos críticos para diseñar un sistema confiable impulsado por un panel solar.

Marco teórico

Características de las celdas solares

Básicamente, una celda solar comprende una unión p-n en la cual la foto energía causa recombinaciones electrón-agujero, generando una corriente eléctrica. Como las características de una unión p-n son similares a aquellos de un diodo, el circuito eléctrico mostrado en la figura 1 a menudo es usado como modelo simplificado [1] de las características de la celda solar

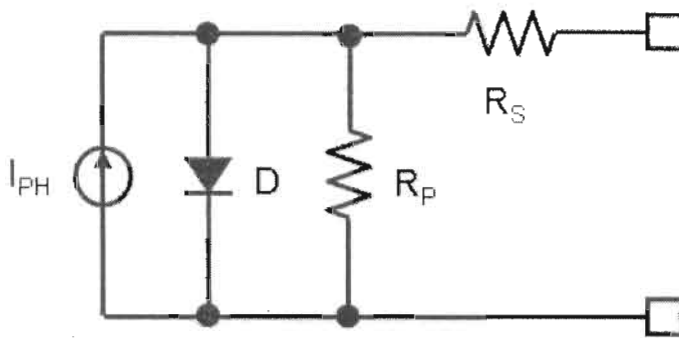


Figura 1 Modelo circuital de una celda solar

La fuente de corriente I_{PH} genera una corriente proporcional por la suma de la energía luminosa que cae sobre la celda. Sin la carga conectada, casi toda la corriente de flujos generados pasara por el diodo D , en cuyo voltaje de avance determina el voltaje de circuito abierto de la celda solar (V_{OC}). Este voltaje varía algo con las propiedades exactas de cada tipo de celda solar. Pero para la mayoría de las celdas de silicio, está en el rango entre 0.5V y 0.6V que es el voltaje normal de avance de un diodo de unión p-n [4].

La resistencia paralela (R_P) representa una pequeña corriente de escape que ocurre en celdas en la práctica, mientras R_S representa las pérdidas de conexión. Al aumentar la corriente de carga, la mayoría de la corriente generada por la celda solar es desviada en dirección diferente al diodo y enviada a la carga. Para la mayor parte de valores de corriente de carga, esto tiene sólo un pequeño efecto en el voltaje de salida.

Hay un pequeño cambio debido a la característica del diodo. Existe también un pequeño voltaje debido a la resistencia de serie (R_S), pero el voltaje de salida permanece en gran parte constante. En algún punto, sin embargo, la corriente que fluye por el diodo interno se hace tan pequeña que se hace insuficientemente parcial, y el voltaje a través de ello disminuye rápidamente con la corriente de carga creciente. Finalmente, cuando toda la corriente generó flujos por la carga y ninguno por el diodo, el voltaje de salida es el cero. Se conoce esta corriente como la corriente de cortocircuito de la celda solar (I_{SC}).

Junto con V_{OC} , esto es uno de los parámetros primarios que definen su funcionamiento de operación. Por lo tanto, la celda solar es considerada una fuente de potencia "limitada por corriente". Cuando la corriente de salida aumenta, su voltaje de salida cae hasta que

finalmente se reduce a cero, cuando la corriente de carga alcanza su corriente de cortocircuito.

La figura 2 muestra las características de salida de una celda solar.

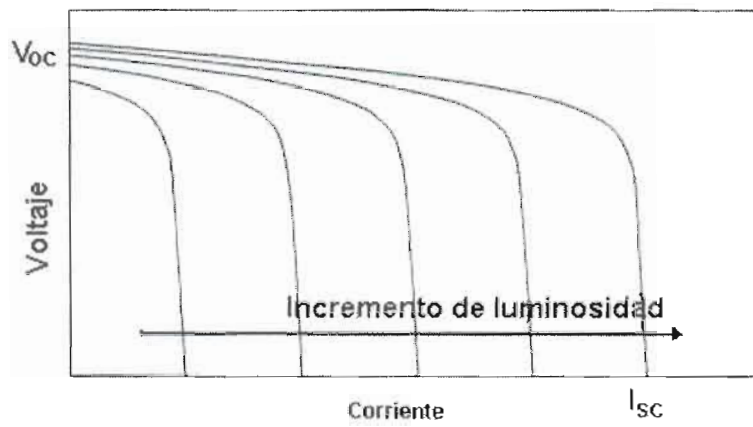


Figura 2 Características de salida de una celda solar

Metodología

En la optimización del diseño del cargador de baterías para conseguir la potencia máxima del panel solar, allí encontramos varios modos de rastrear el MPP para un sistema de panel solar. Estos a menudo se hacen bastante complejos, sobre todo en sistemas de misión críticos como satélites. Sin embargo, un esquema de MPP-RASTREO sumamente exacto no es necesario. Una solución simple, económica que puede recoger alrededor del 90 por ciento de la energía disponible que es todo lo que se requiere.

Circuito propuesto

El voltaje de salida máximo (V_{OC}) de este panel solar típicamente está entre 5.5V y 6.0V. Ya que esto está debajo del voltaje de regulación de salida predefinido de 6V, cuando MOSFET Q1 (ver figura 3) está totalmente conectado. Si la corriente total requerida del sistema y el cargador de baterías exceden la capacidad de corriente de salida de la celda solar, que depende de la luz, el voltaje de salida del panel solar se caerá, reduciendo el voltaje de salida (V_{OUT}). Cuando V_{OUT} se cae a V_{DPPM} , que es también el voltaje de salida de panel solar, obliga a que la corriente cubra la carga. El panel solar ahora funcionará cerca de su MPP, si el V_{DPPM} es puesto cerca del MPP. Esto será alcanzado correctamente programando $RDPPM$ a un nivel que permite a V_{OUT} para ser mantenido a mínimo de 4.5V. Este valor de V_{DPPMIS} es el usado porque esto corresponde razonablemente bien al MPP del panel solar [5].

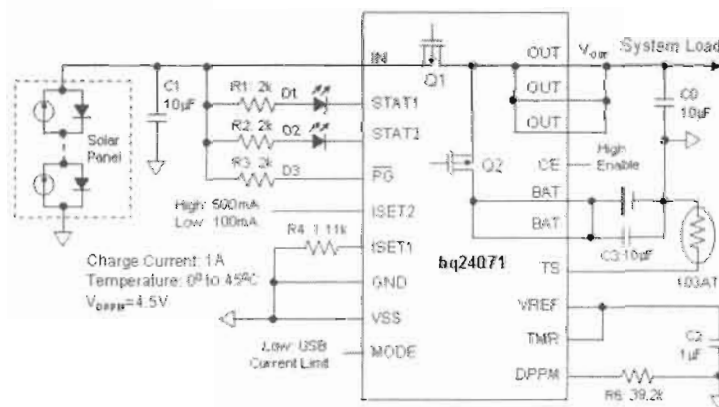


Figure 3: Circuito propuesto como cargador

Para establecer la dirección de camino de poder dinámica (DPPM) aquí la tecnología puede encontrar este desafío de diseño para rastrear MPP. El gráfico a continuación muestra la batería de Ion De litio (el Li-Ion) que carga el circuito de aplicación para maximizar el poder disponible del panel solar, donde MOSFET Q2 es usado para regular la carga de corriente de la batería, el voltaje cobra carga o el voltaje de bus de

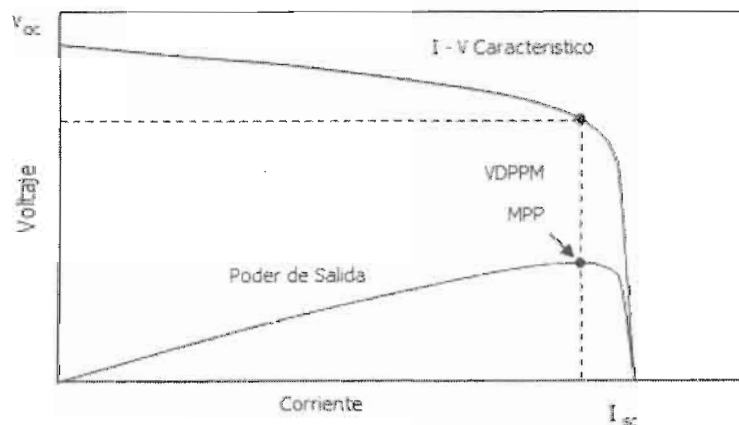
sistema lo hace[6]. Un panel solar es usado como una fuente de poder que recarga una celda de Li-Ion sola. El panel solar comprende un número de cuerdas, cada uno con 11 celdas de silicio en serie. Esto se comporta como una fuente de voltaje limitada por corriente en la cual el límite corriente es determinado por el tamaño del panel, y la cantidad de luz que se cae sobre ello.

DPPM supervisa el voltaje de bus de sistema (VOUT) por la gota debido a la corriente que limita la fuente de poder. El condensador se unió a través del bus de sistema que comienza a descargar, haciendo el voltaje de bus de sistema comenzar a caer una vez que llega la corriente requerida por el sistema y el cargador de baterías es mayor que la corriente disponible del panel solar. Una vez que el voltaje de bus de sistema se cae al umbral predeterminado DPPM, el sistema de control de carga de batería regula el voltaje bus de sistema en el umbral DPPM.

Esto será logrado reduciendo la corriente que carga la batería, así alcanzara el poder máximo del panel solar. El circuito de control de DPPM trata de alcanzar una condición fija donde el sistema consigue su poder necesario, y la batería se acredita del poder restante. Esto maximiza el empleo del poder disponible del panel solar, y mejora la fiabilidad de sistema.

Asumiendo una gota de voltaje de 300mV a través de MOSFET Q1, el voltaje a través de cada celda será igual a 436mV, que maximiza la salida de poder del panel solar. Si VOUT es mayor que 4.5V, la función de DPPM no hace nada, y el panel solar aleja de su MPP [7]. Para este único pasa será necesario menos poder por el sistema y de el cargador de baterías que el panel solar puede suministrar. En el caso de que haya una reducción de la eficacia no es tan importante.

En la figura 4 se muestra que la curva de potencia de salida es bastante plana conforme esta se va acercando al MPP, para luego caer bruscamente. Por lo tanto, es mejor poner VDPPM ligeramente alto más bien que ligeramente bajo.



Figura

Figura 4 Características de salida de la celda solar

Objetivo general

Implementar un cargador de batería Li-Ion considerando la energía solar para su utilización, obteniendo la máxima eficiencia de la potencia proporcionada por un panel Solar.

Objetivos específicos

- Realizar investigación documental en el área de la energía solar y la carga de batería Li-Ion.
- Elaborar investigación sobre los componentes que constituyen un panel solar.
- Localizar partes y material necesario para el proyecto
- Realizar pruebas entre el circuito y el panel solar
- Implementar el proyecto completo
- Discutir y definir conclusiones y recomendaciones del proyecto
- Documentar el proyecto
- Presentación del proyecto en examen

Metas

- Investigar al menos 10 fuentes de información sobre la aplicación y desarrollo de la energía solar y la batería constituida por Li-ion
- Contar con el material requerido para la elaboración del proyecto
- Construir el circuito que se encargara de cargar la batería de Li-Ion basándome en el que se fue propuesto
- Complementar la función del circuito con el panel solar proporcionado
- Llevar a cabo por lo menos 5 pruebas exitosas del sistema completo
- Finalizar la documentación y reporte final del proyecto

Acciones

Acciones para meta 1

- Investigar biblioteca UACJ
- Investigar biblioteca del Tecnológico de Ciudad Juárez
- Investigar en internet
- Entrevistas

Acciones para meta 2

- Análisis de requerimientos
- Visitas a laboratorios de IIT
- Contactar a tiendas de electrónica
- Consultar con compañeros

Acciones para meta 3

- Generar el circuito
- Cerciorarme de su correcto funcionamiento
- Verificar el funcionamiento de la batería de Li-ion

Acciones para meta 4

- Complementar el panel solar con el circuito
- Verificar el funcionamiento del panel solar
- Corroborar el potencial del circuito

Acciones para meta 5

- Realizar las pruebas del proyecto
- Verificar que sea correcto el funcionamiento del sistema
- Analizar los puntos de su funcionamiento

Acciones para meta 6

- Finalizar la documentación
- Cerciorarme de su correcta elaboración
- Entregarlo

Requerimientos para meta 1

- Computadora con internet
- Credencial para biblioteca UACJ
- Tiempo (20 horas)
- Amigo/familiar con credencial del Tecnológico de ciudad Juárez

Requerimientos para meta 2

- Credencial
- Teléfono
- Tiempo (20 horas)

Requerimientos para meta 3

- Componentes eléctricos de circuitos digitales
- Batería Li-ion
- Software de análisis de circuitos
- Tiempo (80 horas)

Requerimientos para meta 4

- Panel solar
- Instrumentos medidores de potencia
- Tiempo (60 horas)

Requerimientos para meta 5

- Software de graficación.
- Software de análisis de circuitos digitales
- Tiempo (40 horas)

Requerimientos para meta 6

- Buena impresora o sitio de impresión
- software de procesamiento de texto
- Tiempo (40 horas)

Cronograma

Etapas: Diseño	Enero				Enero				Febrero				Febrero				Marzo			
	Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
Actividad 1.1.1	1	1	1																	
Actividad 2.1.1				2	2	2														
Actividad 3.1.1							3	3												
Actividad 3.1.2								3	3											
Actividad 4.1.1										4	4									
Actividad 4.1.2												4	4	2						
Actividad 5.1.1															5	5	5			
Actividad 6.1.1																		6	6	

Referencias

- [1] <http://www.powermanagementdesignline.com>

- [2] Roger L. Tokheim. "Electrónica Digital" Ed. Universidad de Salamanca.2006.

- [3] Aden B. Meinel,Marjorie Pettit Meinel."Aplicaciones de la energía solar" Ed. Reverte.1982

- [4] Tea Bendulin. "Energy for Today/ Energía para el presente" Ed. Gareth Stevens .2008.

- [5] Peter Gevorkian. "Solar power in building design: the engineer's complete design resource" Ed. McGraw-Hill Professional. 2007.

- Theodore L. Brown , Bruce E. Bursten, Julia R. Burdge."Química: la ciencia central" Ed. Pearson. 2004.

- Plana M. , Joan Ramon Rosell ."Tecnología solar, energías renovables" Ed. Mundi-Prensa Libros.2005.

- R.Dorf. "Circuitos Eléctricos " Ed. Marcombo.2000.

- [6] M.Morrison Mano. "Diseño Digital "Ed. Pearson Educación. 2005.

- Texas Instruments. "Battery Management"
<http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/bq24071.html> Octubre 2009.

- [7] Datasheet. "BQ24071 -single-chip Li-ion charge and system power-path management ic". <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/162821/TI/BQ24071.html> octubre 2009.

**DISEÑO DE UN CARGADOR DE BATERIA LI-ION PARA OBTENER
LA MAXIMA POTENCIA DE UN PANEL SOLAR**

por

Jesús Alejandro Saucedo García

Presentado al comité revisor del Instituto de Ingeniería y Tecnología de

La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

para obtener el título de

INGENIERO EN SISTEMAS DIGITALES Y COMUNICACIONES

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIUDAD JUAREZ

Mayo 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
Instituto de Ingeniería y Tecnología

EVALUACIÓN DE EXAMEN
PROFESIONAL INTRACURRICULAR
NIVEL: LICENCIATURA

Fecha: 25 de Mayo del 2010
Horario: 11:00 – 13:00 HRS.

TEMA: **"Diseño de un cargador de batería LI-ION para obtener la máxima potencia de un panel solar"**

La evaluación del examen profesional intracurricular consta de 4 partes:
(Desarrollado en 1 hora)

- 1º.- Exposición por parte de los alumnos (máximo 20 minutos).
- 2º.- Réplica por parte del jurado.
- 3º.- Comentarios y/o recomendaciones.
- 4º.- Entrega de resultados.

Nombre del alumno: **Jesús Alejandro Saucedo García**

Calificación Maestro de la materia (30%)	<u>25</u>
Calificación Director de Trabajo (40%)	<u>40</u>
Calificación del Jurado (30%)	<u>22</u>
TOTAL	<u>87</u>

Se recomienda que el documento se deposite para consulta en la BIBLIOTECA

Si ☒
No ☐

FIRMADO EN ORIGINAL

**DISEÑO DE UN CARGADOR DE BATERIA LI-ION PARA OBTENER LA
MAXIMA POTENCIA DE UN PANEL SOLAR**

Los miembros del comité revisor que aprobaron el proyecto
de titulación de:

Jesús Rodarte Dávila
Asesor del proyecto

José Jr. Míreles García
Titular de la materia

Ricardo Pérez
Sinodal

Abimael Jimenez
Sinodal

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Bajo la gravedad de juramento, que se entenderá prestando con la firma y presentación de este documento, aseguro que este escrito, así como sus resultados en el reportados, son producto de trabajo y esfuerzo que hasta donde se sabe, no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que no existe obra alguna que se le parezca y mucho menos sea idéntica a él, por lo tanto declaro que su material no ha sido usado para obtener otro título o reconocimiento en otra institución de educación superior.

Firma: _____

Jesús Alejandro Saucedo García

Cd. Juárez, Chih. México, 25 de Mayo 2010

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en especial y de forma personal a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente durante mi formación académica incluyendo la carrera profesional que estoy por finalizar. A ustedes, que con su apoyo integraron una buena base donde puedo determinar firmemente mis sueños. De manera notable, agradezco al Dr. Jesús Rodarte Dávila por todo su apoyo y disposición que me brindo para la realización de este proyecto, quien se ha ganado mi respeto y admiración por sus consejos, tiempo y ayuda. Al Dr. José Jr. Míreles García agradezco por ser una guía de información para la realización de mi proyecto, todo con la finalidad de elaborarlo lo mejor posible. Seria imposible el nombrar a todas las personas que siempre estuvieron apoyándome, de manera general les agradezco a mis maestros el haberme preparado profesionalmente, a quien les debo la mayor parte de mis conocimientos que eh adquirido durante toda mi formación académica.

Mayo 2010

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2.....	3
2.1. Planteamiento del problema.....	3
2.2. Definición del problema.....	4
2.3. Objetivo General.....	4
2.3.1. Objetivos particulares.....	4
2.4. Justificación.....	5
2.5. Delimitación.....	6
CAPÍTULO 3	7
MARCO TEÓRICO.....	7
3.1. Generalidades de la energía solar	7
3.1.1. Historia de la energía solar.....	7
3.1.2. Origen de las celdas solares.....	8
3.1.3. Aplicaciones técnicas de la energía solar	9
3.1.4. Celda solar	10
3.1.5. El fenómeno fotovoltaico	11
3.1.6. Trayectoria del sol	12
3.2. Dispositivos de almacenaje de energía	14
3.2.1. La batería	14
3.2.2. Batería recargable de Litio-Ion	14
3.3. Sistema de cargado de batería	16
3.3.1. Sistema convencional de cargador de batería	16
3.3.2. Sistema del integrado bq24071	16
3.3.3. Integrado bq24071	17
3.3.4. Funcionamiento MODE	18
3.3.5. Sistema de alimentación	19
3.3.6. Gestión Dinámica del Patrón de Energía (DPPM)	19
3.3.7. Monitorización de la temperatura en la batería	22
3.3.8. Preparación de la batería	22
3.3.9. Corriente de carga en la batería	23
3.3.10. Regulación de voltaje de la batería	24
3.4. Microcontroladores	25
3.4.1. Características de los microcontroladores	25
3.4.2. Microcontrolador PIC16F84	25
3.4.3. Características del PIC16F84	27
3.4.4. Información PCF8591	28
3.4.5. Regulador de voltaje	29

3.4.6. Regulador LM317	30
3.4.7. Resistencia variable	31
3.4.8. Dieléctrico o aislante	31
3.4.9. Disipador de potencia	32
CAPÍTULO 4.....	34
INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA.....	34
4.1.1. Osciloscopio digital: Hewlett Packard 54603 60 Hz	35
4.1.2. Multímetro: Hewlett Packard 34401	35
4.1.3. Fuente: Agilent E3648A 0-8v	36
4.1.4. Multímetro Portátil	36
4.1.5. Computadora Toshiba Satellite A215	37
4.1.6. Cámara fotográfica Optio Pentax	37
4.1.7. Computadora DELL	37
4.2. Materiales utilizados	38
4.2.1. Circuito regulador de voltaje	39
4.3. Determinación del EVMbq24071	39
4.3.1. Características del EVMbq24071	41
4.3.2. Características del modulo	42
4.4. Elaboración del circuito con función de voltímetro	46
4.4.1. Diseño del circuito en Proteus	47
4.4.2. Construcción de la tablilla para la medición de voltaje	48
CAPÍTULO 5	49
RESULTADOS	49
5.1. Recolección de energía por medio del panel solar	49
5.2. Origen de la corriente I_{PH}	50
5.3. Reconocimiento del punto máximo de potencia (MPP)	51
5.4. Resultados del circuito de control DPPM	52
5.5. Resultado en la búsqueda de la máxima potencia	54
CAPÍTULO 6	56
CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....	56
6.1. Conclusiones	56
6.2. Trabajo a futuro	58
APÉNDICE A.....	59
REFERENCIAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 3.1. Celda solar.....	7
Figura 3.2. Composición de un panel solar	8
Figura 3.3. Modelo circuital de una celda solar	9
Figura 3.4. Panel solar.....	10
Figura 3.5. Elementos activos de un panel solar.....	11
Figura 3.6. Trayectoria elíptica.....	12
Figura 3.7. Diagrama del circuito en modo alto.....	16
Figura 3.8. Terminales del dispositivo bq24071.....	16
Figura 3.9. Monitoreo de la temperatura en la batería.....	21
Figura 3.10. Terminales del PIC16F84A.....	25
Figura 3.11. Terminales del PCF8591P.....	27
Figura 3.12. Regulador de voltaje LM317T.....	29
Figura 4.1. Diagrama de bloques del sistema de carga propuesto.....	33
Figura 4.2. Osciloscopio digital.....	34
Figura 4.3. Multímetro HP.....	34
Figura 4.4. Fuente de poder Agilent.....	35
Figura 4.5. Regulador de voltaje y circuito propuesto.....	38
Figura 4.6. EVMbq24071.....	39
Figura 4.7. Módulo EVMbq24071 cargando una batería.....	41
Figura 4.8. Diagrama del UUT.....	41
Figura 4.9 Aplicación de las pruebas realizadas.....	44
Figura 4.10. Diagrama de voltímetro usando el PIC16F84 y PCF8591.....	45
Figura 4.11. Circuito impreso del voltímetro.....	46

Figura 4.12. Diseño de la estructura.....	47
Figura 5.1. Panel solar tomando carga.....	48
Figura 5.2. Voltaje entregado por el panel solar.....	49
Figura 5.3. Aplicación del regulador de voltaje.....	50
Figura 5.4. Voltaje regulado.....	51
Figura 5.5. Modulaci3n del voltaje del panel solar alimentando el EVM.....	52
Figura 5.6. Circuito alimentando la bater3a cerca del MPP.....	53
Figura 5.7. Voltaje suministrado en la bater3a.....	54

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 3.1. Funciones del dispositivo bq24071.....	17
Tabla 3.2. Parámetros de la regulación del DPPM.....	20
Tabla 3.3. Parámetros de preparación de la batería.....	22
Tabla 3.4. Propiedades descriptivas del PIC16F84.....	25
Tabla 3.4. Propiedades descriptivas del PCF8591.....	28
Tabla 3.6. Permitividad relativa en algunos materiales.....	30

LISTA DE ACRÓNIMOS

MPP	Punto máximo de potencia
Li-Ion	Iones de Litio
V	Voltaje eléctrico
p-n	Unión de dos diodos formado por dos tipos de silicio
UA	Unidad Astronómica
mAh	Miliamperios por hora
Ni-MH	Níquel e hidruro metálico
LiCoO ₂	Dióxido de cobalto de litio
DC	Corriente continua
AC	Corriente alterna
FET	Transistor de efecto de campo (Field-Effect Transistor)
I	Corriente
USB	Universal Serial Bus
mA	Miliamperio
DPPM	Dynamic Power-Patch Management
A	Amperios
SF	Factor de escala
TMR	Timers
VSS	Entrada de tierra eléctrica(-)
TS	Temperature sensor
LTF	Temperature fault in low
HTF	Temperature fault in high
PRECHG	Precharge

K	Corriente de carga colocada en la batería
DIL	Dual-In-Line
VDD	Entrada de alimentación(+)
MHz	Megahertz
RAM	Memoria de acceso aleatorio
PIC	Control de interfaz periférico (Peripheral Interface Controller)
EEPROM	Memoria programable borrable de solo lectura (Erasable Programmable Read Only Memory)
ALU	Unidad aritmética lógica
I^2C	Bus de comunicaciones en serie
DAC	Convertidor de digital a analógico
ADC	Convertidor de analógico a digital
Er	Permitividad relativa
C	Capacidad del condensador
W	Watts
μF	Microfaradios
nF	Nano faradios
JMP	Jumper
CI	Circuito Integrado
Layout	Diseño
EVM	Evaluation module

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

En el mundo de la tecnología portátil, que hoy en día ocupa varias de nuestras actividades cotidianas; es importante tener siempre en cuenta un factor, la batería; que en la mayoría de las veces está constituida por Iones de Litio (Li-Ion). Este tipo de batería es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito, una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.

Se plantea la utilización de un panel solar CS6P-190 de la compañía Canadian Solar, este comprende de 60 celdas de silicio en serie, que a su vez determina también la cantidad de corriente. Su comportamiento es el de una fuente de voltaje limitada por corriente.

La máxima potencia del panel solar para cargar una batería de Li-Ion puede ser lograda regulando el voltaje del sistema alrededor del Punto Máximo de Potencia (MPP) a través de la reducción de corriente de carga cuando la demanda total de corriente del sistema y la carga de la batería excede la capacidad de corriente de salida del panel solar, la demanda total estar formada por: la demanda de corriente del sistema y la demanda de corriente de la batería, para asegurar lo anterior se realizara una bitácora con diversos valores de voltaje obtenidos para considerar el grado de reducción.

La arquitectura de control de potencia del sistema y la carga de la batería son elementos críticos para diseñar un sistema confiable impulsado por el panel solar. Existen varios métodos para monitorear el MPP para un sistema de panel solar. Estos regularmente son bastantes complejos, en algunos casos son sensibles al costo, sin embargo, un esquema de

seguimiento al punto MPP muy preciso, no es necesario. Se propone una solución de bajo costo el cual puede actuar cerca del 90% de la energía disponible, que todo lo que se requiere.

CAPÍTULO 2

2.1 Planteamiento del problema

El engrandecimiento de usuarios en aparatos o dispositivos portátiles ha sido incrementado considerablemente en las últimas décadas. Para la tecnología que hoy en día ocupa varias de nuestras actividades cotidianas, desde hablar por teléfono celular, escuchar música en un reproductor portátil, utilizar una cámara digital, trabajar con una laptop, entre muchas cosas más; es importante tener siempre en cuenta un factor, la batería, que en la actualidad, mayormente está constituida por Iones de Litio (Li-Ion). Este tipo de batería es un dispositivo diseñado para el almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito, una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.

En estos tiempos donde el suministro de energía eléctrica esta por entrar en un momento de escasez, es importante pensar que para cualquier actividad que requiera alguna fuente de energía podemos considerar la energía solar para su utilización, como el cargar una batería de Li-Ion, obteniendo la máxima eficiencia de potencia proporcionada por un panel solar.

El uso de la energía solar es un campo importante para la investigación ya que, a diferencia de otras fuentes de energía, la solar es inagotable, es decir podemos aprovechar al máximo esta energía y canalizar para un fin productivo y eficiente.

2.2 Definición del problema

El proyecto pretende desarrollar y evaluar un circuito electrónico capaz de aprovechar al máximo la luz solar, buscando la máxima potencia del panel solar para cargar una batería de Li-Ion que puede ser lograda regulando el voltaje del sistema alrededor del Punto Máximo de potencia (MPP) a través de la reducción de corriente de carga cuando la demanda total de corriente del sistema y la carga de la batería sobrepasa la capacidad de salida del panel solar.

2.3 Objetivo General

Considerar la energía solar para su utilización como el cargar una batería de Li-Ion, obteniendo la máxima eficiencia de la potencia proporcionada por un panel Solar.

2.3.1 Objetivos particulares

- a) Realizar investigación documental en el área de la energía solar y la carga de batería Li-Ion
- b) Elaborar investigación sobre los componentes que constituyen un panel solar
- c) Investigar la cantidad de energía ocupada por dispositivos de baja potencia
- d) Estudiar y comprender el funcionamiento del circuito diseñado
- e) Realizar pruebas entre el circuito diseñado y el panel solar.

2.4 Justificación

La energía solar es una fuente de energía atractiva para impulsar dispositivos portátiles. Desde hace algún tiempo, extensamente ha sido usada en objetos como calculadoras hasta naves espaciales. Más recientemente, la energía solar está siendo considerada para una más amplia gama de usos del consumidor, incluyendo cargadores de teléfono móvil. Sin embargo, la potencia disponible de un panel solar es muy dependiente del medio ambiente. Esto incluye fenómenos físicos como la intensidad de luz, el tiempo y la posición, etc. Por lo tanto, las pilas típicamente son usadas como elementos de almacenaje de energía. Ellas pueden ser usadas cuando la potencia suplementaria está disponible en el panel solar, así como impulsar el sistema cuando la potencia disponible del panel solar es insuficiente.

Para establecer los parámetros necesarios en el diseño de un cargador de baterías de Ion de Litio (Li-Ion) sacando el máximo partido del panel solar y de manera eficiente cargar una batería de Li-Ion, es necesario primeramente hablar de las principales características de operación eléctrica y de salida del panel. Entonces, cubriremos exigencias del sistema de carga de la batería para hacer compatible las características de las celdas solares para conseguir la potencia máxima del panel solar.

La fuente de poder del panel solar es considerada una fuente de voltaje “limitada por corriente”. La potencia máxima del panel solar para cargar una batería de Li-Ion puede ser alcanzada regulando el voltaje del bus del sistema alrededor del MPP por la reducción de corriente carga, cuando la demanda total de corriente del sistema y a la carga de la batería excede la capacidad de corriente de salida del panel solar. La potencia del sistema y la carga de batería así como la arquitectura de control de potencia son elementos críticos para diseñar un sistema confiable impulsado por un panel solar.

2.5 Delimitación

- a) Se alimentaran dispositivos de 3 a 6V.
- b) Este sistema podrá inicializar la carga de un dispositivo electrónico común mas no mantener la energía constante.
- c) El tiempo de trabajo en el proyecto será limitado, tan solo por 6 meses.
- d) Se tiene la limitación en la elaboración del circuito por la localización de partes.
- e) El presupuesto se limita en el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO 3

MARCO TEORICO

3.1 Generalidades de la energía solar

3.1.1 Historia de la energía solar

El Sol es una masa de materia gaseosa caliente que irradia a una temperatura efectiva de unos 6,000 grados centígrados y se encuentra a una distancia aproximada de 147, 250,000 kilómetros de la Tierra. El principal integrante de nuestro sistema solar puede satisfacer muchas de nuestras necesidades si aprendemos a utilizar racionalmente su luz y energía.

El investigador alemán Hermann von Helmholtz, pudo constatar en el año de 1854 que la propia gravedad del Sol suministraba una gran cantidad de energía. Suponía que si el Sol se contrae gradualmente, toda su materia caería paulatinamente hacia su centro y por tanto se emite suficiente energía para mantener su radiación durante mucho tiempo. Calculó que esta fuente de gravedad proveería energía al Sol durante más de 20 millones de años [4].

Se tiene una estimación de que el Sol cuenta con alrededor 5,000 millones de años y que su formación se produjo cuando la gravedad atrajo una gran nube de gas y polvo, de la cual también se originaron la Tierra y los otros planetas. La atracción gravitatoria liberó energía y calentó al Sol.

3.1.2 Origen de las celdas solares

Las celdas solares eficientes han estado disponibles desde mediados de los años 50, la investigación de tal comenzó en 1839, cuando el científico francés Henri Becquerel realizó el descubrimiento de que una corriente eléctrica podía ser producida haciendo brillar el sol sobre ciertas soluciones químicas [1].



Figura 3.1 Celda solar

En la elaboración de paneles solares fotovoltaicos, es utilizada una tecnología desarrollada y complicada, que en comparación con numerosas compañías que se aplican para hacer colectores solares térmicos, los cuales tienen una validez tolerable; esto no sucede con los paneles solares fotovoltaicos ya que pocas empresas alrededor del mundo cuentan con el potencial para fabricarlos.

Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo [5].

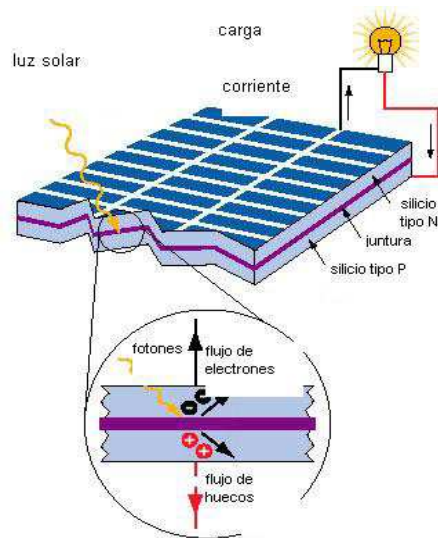


Figura 3.2 Composición de un panel solar

3.1.3 Aplicaciones técnicas de la energía solar

El uso de la energía solar se encuentra en numerosas aplicaciones telecomunicaciones, donde por medio de las celdas es posible alimentar sistemas de repetición que se encuentran alejado de la red eléctrica. Otra aplicación es en los sistemas de bombeo de agua en lugares rurales, ya que la electrificación es escasa o nula, en sistema híbridos junto con generadores eólicos.

Por otro lado tendríamos que tomar en cuenta la iluminación y señalización publica en zonas apartadas. Es importante señalar que una celda solar tiene un promedio de vida de 20 años [3].

3.1.4 Celda solares

Básicamente, una celda solar comprende una unión p-n en la cual la foto energía causa recombinaciones electrón-agujero, generando una corriente eléctrica. Como las características de una unión p-n son similares a aquel de un diodo, el circuito eléctrico mostrado en la *figura 3.3* es a menudo usado como modelo simplificado [1] de las características de la celda solar

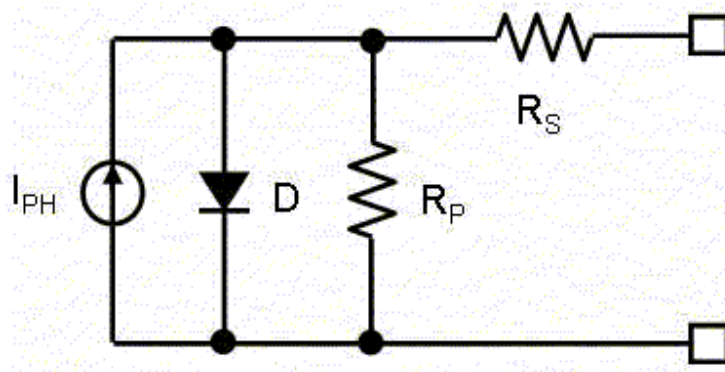


Figura 3.3 Modelo circuital de una celda solar

También se les da el nombre de células solares, las celdas solares se definen como dispositivos que convierten la energía solar en electricidad debido al efecto fotovoltaico. El mecanismo del funcionamiento se basa en que la luz incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas, la capa N adquiere una diferencia de potencial con respecto a P y el voltaje resultante es capaz de conducir una corriente a través de un circuito, produciendo un trabajo útil [4].

Con relación al uso eléctrico de la energía solar, las células solares se perfilan como la respuesta técnica más viable al problema de la electrificación rural en países que se benefician del sol todo el año. Esta aplicación tiene clara ventaja sobre otras alternativas, pues los paneles utilizados carecen de partes reemplazables, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido, no consumen combustible y

no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados dado que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

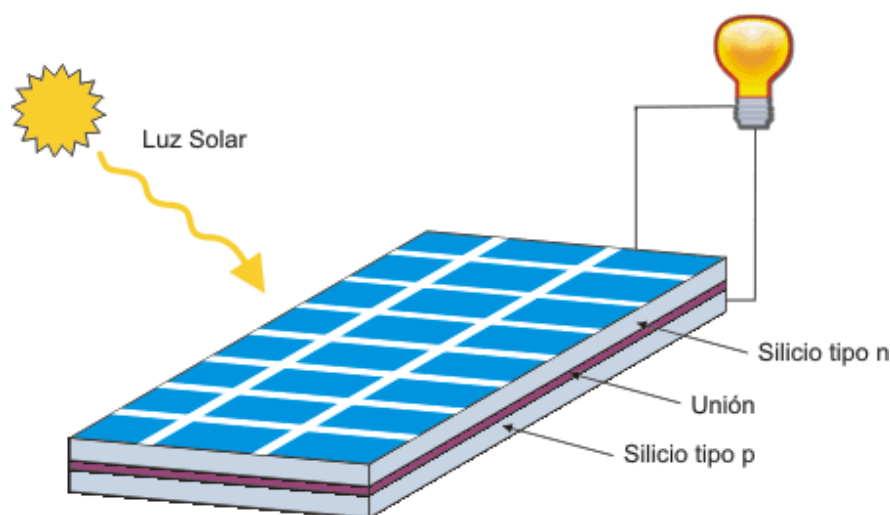


Figura 3.4 Panel Solar

3.1.5 El fenómeno fotovoltaico

La asimilación o retención directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares. La energía retenida se emplea en procesos térmicos o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio. Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.

En los procesos térmicos, los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción. La energía transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del

colector. Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas coberteras transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82.0 grados centígrados y obtener entre el 40.0 y el 80.0 por ciento de eficiencia [7].

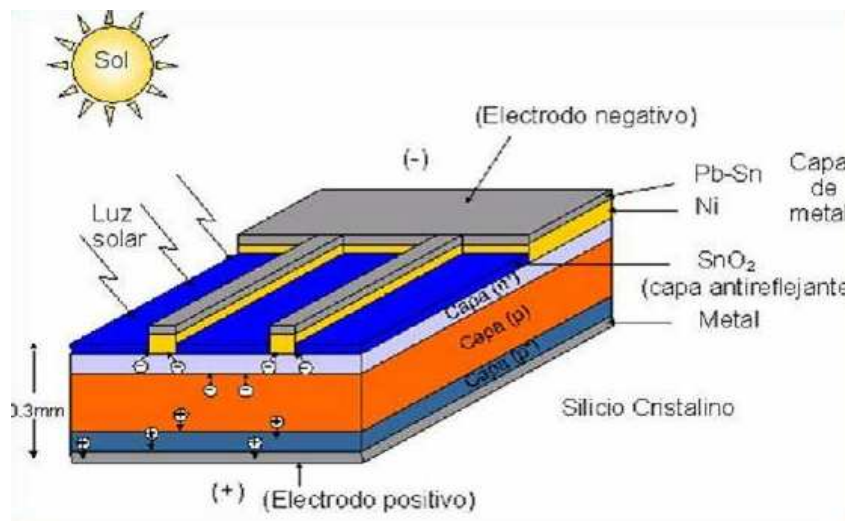


Figura 3.5 Elementos activos de un panel solar

3.1.6 Trayectoria del sol

Podríamos definir algunos factores ya mencionados que afectan radicalmente la incidencia de la radiación sobre una foto celda, este es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y a lo largo de año. Decimos movimiento aparente porque en realidad la tierra es la que gira y no el sol. La Tierra tiene dos tipos de movimientos, uno alrededor de su propio eje, “rotación”, el cual da lugar al día y a la noche; el otro es alrededor del sol, “traslación”, siguiendo una trayectoria elíptica, el cual causa a las estaciones del año [5].

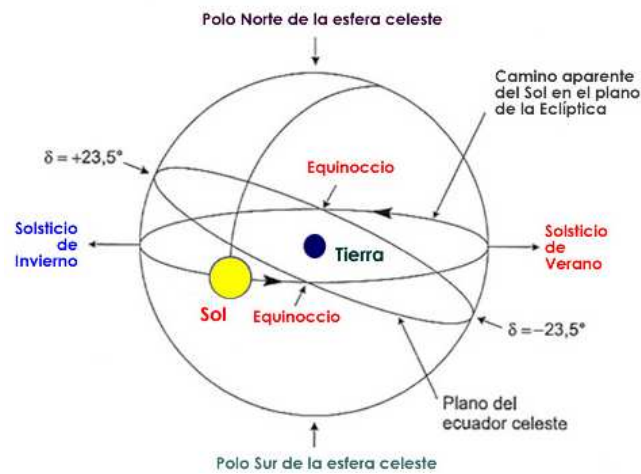


Figura 3.6 Trayectoria elíptica

Llamamos declinación solar (δ) al ángulo formado por la línea que une los centros de la Tierra y el Sol y su proyección sobre el Ecuador. En un solo día se considera que la declinación solo puede variar como máximo 0.5° .

En el Hemisferio Norte, en el Solsticio de Verano la declinación tiene su valor máximo positivo ($23^\circ 45'$) disminuyendo hasta ser igual a 0° el 23 de septiembre (Equinoccio de Otoño). Por contra, en el Solsticio de Invierno, la declinación toma su valor mínimo ($-23^\circ 27'$) y vuelve a aumentar hasta anularse en el Equinoccio de Primavera.

La excentricidad de la Eclíptica hace que la distancia entre la Tierra y el Sol varíe durante el año de acuerdo con una fórmula sencilla. En los Equinoccios de Primavera y Otoño la distancia es de 1 UA (U.A = Unidad Astronómica), mientras que en el Afelio, que coincide con el Solsticio de Primavera, la distancia es máxima: 1.017 UA, y en el de Invierno, en el Perihelio, es mínima: 0.983 UA [7].

3.2 Dispositivos de almacenaje de energía

3.2.1 La batería

Una batería esta compuesta por dos electrodos, un cátodo y un ánodo, positivo y negativo con separador poroso situado entre los dos. En el momento de carga de la batería la velocidad de carga es determinada generalmente por miliamperios por hora (mAh) la capacidad de la batería.

Al parecer, hoy es común que los vendedores ofrezcan a sus clientes indicaciones anacrónicas respecto a cómo deben usar las baterías de sus dispositivos. No los culpo: la tecnología avanza más rápido de lo que uno logra actualizarse, no así sus empresas que tienen el deber de proveer la capacitación necesaria e incluso llegan al extremo de entregar instructivos equivocados con sus aparatos

3.2.2 Batería recargable de Iones de Litio

El trabajo precursor con baterías de litio comenzó en 1912 pero hasta principios de la década del 70 que las primeras baterías no recargables de litio se volvieron aprovechables comercialmente. Intentos por desarrollar baterías de litio recargables continuaron durante los años ochenta, pero fallaron debido a problemas de seguridad.

Pese a algunas limitaciones, las baterías de Li-Ion continúan teniendo la mejora más importante. Por muchos años la batería de Níquel fue la única disponible para dispositivos portátiles como los utilizados en comunicación inalámbrica. En 1990 surgieron las de NiMH y las de Li-Ion, ofreciendo mayores capacidades. La batería de Li-Ion es de bajo mantenimiento, una ventaja que ningún otro químico puede ofrecer. No hay efecto memoria y no se requiere ciclos de mantenimientos para prolongar la vida de la batería

Tras largas investigaciones sobre las baterías de litio durante la década del ochenta, se descubrió que el ciclo de carga altera el electrodo de litio reduciendo de este modo su estabilidad térmica y provocando una potencial fuga térmica. Si esto se produce, la

temperatura de la celda rápidamente se aproxima al punto de fusión del litio, lo que desencadena una violenta reacción [5].

A causa de la inestabilidad inherente al Metal - Litio, especialmente durante su carga, las investigaciones se orientaron hacia la búsqueda de una batería de Litio no metálico usando iones de litio como Dióxido de litio-cobalto (LiCoO_2). Aunque levemente menor en densidad de energía que el metal - Litio, el Li-Ion es seguro, provisto con ciertas precauciones para la carga y la descarga

Las baterías de Li-Ion son mucho más eficientes que las basadas en Níquel, por lo que no requieren una carga inicial prolongada. De hecho, ninguna batería Li-Ion actual requiere cargas superiores a 8 horas, independientemente de las circunstancias.

La composición de las baterías de Litio-Ion hace preferibles las descargas parciales a una completa. Peor aún, si es sometida con frecuencia a pérdidas totales de energía, sus circuitos pueden asumir un desperfecto que activará un mecanismo de bloqueo [6].

Si hablamos de su vida útil, cada vez se introducen nuevas mejoras en la tecnología por lo que pueden durar entre 500 a 1000 ciclos de carga y descarga, lo que se traduce en un promedio de dos a tres años (luego se produce desgaste químico). Si hablamos de la duración de una carga, entonces dependerá de las características de cada batería y dispositivo [7].

Existen algunos cargadores de baterías comerciales que detectan el momento de carga máxima, pues en es punto se observa un pico en el voltaje (aumenta hasta un máximo y luego disminuye) interrumpiendo en ese momento el proceso de carga de la batería.

3.3 Sistema de cargado de batería

3.3.1 Sistema convencional de cargador de batería

Existen dos tipos principales de cargadores utilizados el día de hoy. Uno provee voltaje constante a la batería y el otro suministra pulsos de voltaje. De esta manera se logra aumentar la vida útil de una batería.

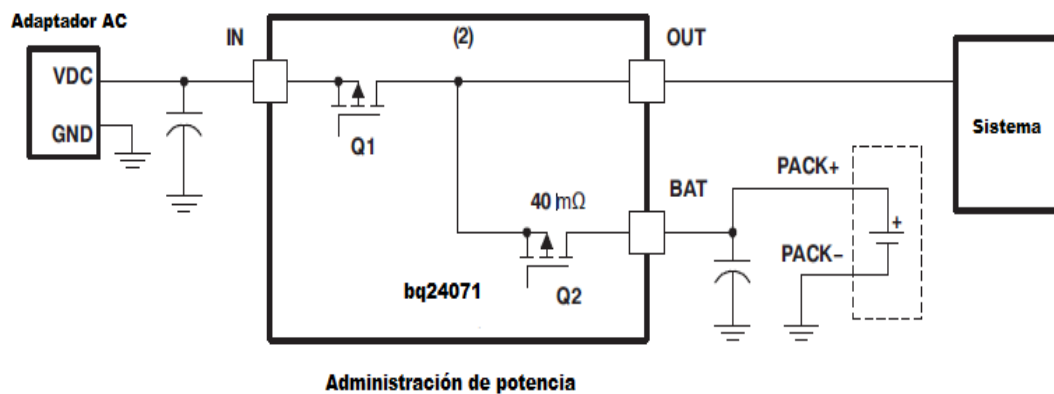
Las condiciones principales que un cargador debe constatar para su correcto funcionamiento son las de:

- 1.- El cargador suministrara a la batería el voltaje necesario para cargarla al 100%
- 2.- Cuando la batería se encuentre recargada completamente, la corriente que fluya del cargador de baterías hacia la batería será mínima.

3.3.2 Sistema del integrado bq24071

El bq24071 es un eficaz integrado de cargador lineal Li-Ion y aplicado a manejar los dispositivos de gestión destinados a espacio limitado para aplicaciones portátiles. El bq24071 ofrece una fuente de alimentación DC con vía autónoma de selección de fuente de energía, el poder de FET y de sensores de corriente, de alta precisión en curso y regulación de voltaje, muestra el estado de la carga y la terminación de la misma, en un dispositivo único monolítico.

El bq24071 alimenta el sistema, mientras que de forma independiente carga la batería. Esta característica reduce los ciclos de carga y descarga de la batería, permite que concluya adecuadamente la carga y admite que el sistema se ejecute con un paquete de batería defectuosa. Esta característica también permite que el sistema instantáneamente se encienda de una fuente externa, en el caso de una batería altamente descargada [1].



Caso 1: Modo AC (Modo = Alto)

Figura 3.7 Diagrama del circuito en modo alto

3.3.3 Integrado bq24071

El integrado bq24071 es el elemento principal en el sistema diseñado para cargar la batería y encontrar la máxima potencia, ya que el esquema del circuito integrado se centra en el suministro de potencia continua en el sistema cuando se disponga de el adaptador de CD o de las fuentes de la batería, a continuación se hará la explicación de las funciones del integrado y su propósito en el proyecto.

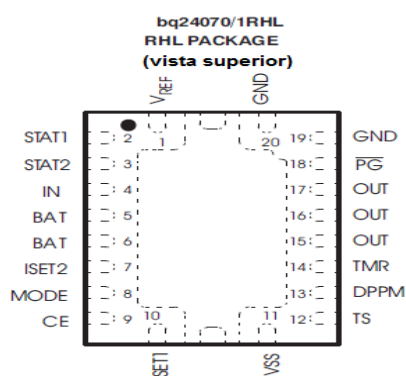


Figura 3.8 Terminales del dispositivo bq24071

Nombre	Terminal Numero	I/O	Descripción
IN	4	I	Voltaje de entrada
PG	18	O	Estado de salida de la potencia
BAT	5,6	I/O	Entrada y salida de la batería
CE	9	I	Activación de entrada del chip (se activa en alto)
DPPM	13	I	Administra el punto de la potencia dinámica
ISET1	10	I/O	Punto de corriente de carga, precarga y terminación
ISET	7	I	Punto de corriente de carga por el puerto USB (Alta = 500mA, Baja=100mA) Consultando el modo de carga media utilizando ISET2
OUT	15,16,17	O	Terminal de salida al sistema
MODE	8	I	Selección de fuente de potencia de entrada (bajo para el límite actual en modo USB)
STAT1	2	O	Estado de carga en la salida 1
STAT2	3	O	Estado de carga en la salida 2
TMR	14	I/O	Programa la entrada del temporizador por medio de una resistencia.
TS	12	I/O	Entrada del sensor de temperatura
GND	19,20	I	Entrada para tierra
VREF	1	O	Señal de referencia interna
VSS	11	-	Entrada para tierra. Esta es una conexión eléctrica interna entre la parte térmica expuesta y el pin VSS de este dispositivo. La parte térmica expuesta debe estar conectada al mismo potencial como el pin VSS en la placa del circuito impreso.

Tabla 3.1 Funciones del dispositivo bq24071

3.3.4 Funcionamiento MODE

El pin MODE selecciona la prioridad de las fuentes de entrada. Con el pin MODE seleccionado en alto, el bq24071 cargará en el modo máximo proporcionado por una fuente AC y fijado por el sistema ISET1. Con el pin MODE seleccionado en bajo, el bq24071 por defecto cargará en el rango de entrada de USB. Esta característica permite el uso de un único conector (mini-USB), donde está programada la modalidad de USB de acuerdo a la fuente que está conectado (adaptador de CA o puerto USB).

Con el pin MODE seleccionado en bajo, el bq24071 suministra una corriente limitada por el Pin ISET2 (100 mA para ISET2 = Bajo, 500 mA para ISET2 = Alto). Si una fuente de entrada no está disponible, entonces la batería está seleccionada como la fuente.

3.3.5 Sistema de alimentación

En este caso, la carga del sistema se alimenta directamente desde el adaptador de CA a través del transistor Q1 interno (véase la *figura 3.8*). La salida está regulada a 4,4 V (bq24071). Si la carga del sistema excede la capacidad del suministro, el voltaje de salida desciende a la tensión de la batería.

Para la regulación de la carga en el modo de CA, la batería se carga a través del switch Q2 basada en el tipo de carga establecido en la entrada de ISET1.

3.3.6 Gestión Dinámica del Patrón de Energía (DPPM)

Esta función controla el voltaje de salida (voltaje del sistema) para la pérdida de potencia de entrada debido a caída de voltaje, limitación de corriente, o la eliminación de la fuente de entrada. Si el voltaje en el pin OUT cae a un valor preestablecido, $V_{(DPPM)} \times SF$, debido a una cantidad limitada de corriente de entrada, entonces la carga de la batería reduce la corriente hasta que deje de bajar el voltaje de salida. El control DPPM trata de llegar a una condición de estado estacionario en que el sistema obtiene su corriente necesaria y la batería está cargada con la corriente restante.

La corriente no activa los límites de control del sistema, por lo tanto, si el sistema demanda más corriente que la entrada pueda proporcionar, el voltaje de salida cae justo debajo de la tensión de la batería y Q2 se enciende, que complementa la corriente de entrada al sistema. DPPM tiene tres ventajas principales.

1.- Esta característica permite seleccionar un convertidor de energía baja de pared (*lower power wall adapter*), si la carga promedio del sistema es moderada en comparación con su potencia máxima. Por ejemplo, si la carga del sistema máxima es de 1.75 A, el sistema de carga promedio es de 0.5 A y la corriente de cargado rápido de la batería es de 1.25 A, la máxima demanda total podría ser de 3 A. Con DPPM, un adaptador de 2-A podrían ser seleccionado en vez de un suministro de 3.25 A. Durante la carga máxima del sistema de 1.75 A y la carga de 1.25 A, el más pequeño adaptador de voltaje cae hasta que el voltaje de salida alcanza el voltaje de regulación DPPM de entrada. La corriente de carga se reduce hasta que no se siga bajando la tensión de salida. El sistema obtiene 1.75 A de carga y la corriente de carga de la batería es reducida de 1.25 A a 0.25 A. Cuando el sistema de pico baja la carga a 0.5 A, y la corriente de carga a 1 A y regresa el voltaje de salida a su valor normal.

2.-El uso DPPM proporciona un ahorro de energía en comparación con las configuraciones sin DPPM. Sin DPPM, si el sistema de corriente de carga excede el límite de corriente que suministra, entonces la salida se puede bajar desde la batería. Los cargadores lineales disipan la energía no utilizada $(V_{IN}-V_{OUT}) \times I_{LOAD}$. La corriente sigue siendo elevada (en límite de corriente) y la caída de voltaje es grande para la disipación de potencia máxima. Con DPPM, la caída de voltaje es menor en el sistema ($V_{IN}-V_{(DPPM-REG)}$) lo que significa una mejor eficiencia. La eficiencia de carga de la batería es la misma para ambos casos. Las ventajas incluyen la disipación de menos energía, reducir la temperatura del sistema, y una mejor eficiencia en general.

3.- El DPPM mantiene la tensión del sistema, sin importar cuál es su causa de la baja, si es posible. Para esto, reduce la carga que no sea crítica, manteniendo la potencia máxima de salida del adaptador.

Se tiene en cuenta que la tensión DPPM, $V_{(DPPM)}$, está programada como sigue:

$$V_{(DPPM-REG)} = I_{(DPPM)} \times R_{(DPPM)} \times SF \quad (3.1)$$

Dónde

$R_{(DPPM)}$ es la resistencia externa conectada entre el DPPM y pin de VSS.

$I_{(DPPM)}$ es la fuente de corriente interna.

SF es el factor de escala como se especifica en la tabla de especificaciones

PARAMETROS		CONDICIONES DE PRUEBA	MIN	TIP	MAX	UNIDAD
REGULACION DPPM						
$V_{(DPPM-SET)}$	Punto asigando DPPM	$V_{DPPM-SET} < V_{OUT}$	2.6		3.8	V
$I_{(DPPM-SET)}$	Fuente de corriente DPPM	Entrada en uso	95	100	105	μA
SF	Factor de escala DPPM	$V_{(DPPM-REG)} = V_{(DPPM-SET)} \times SF$	1.139	1.150	1.162	

Tabla 3.2 Parámetros de la regulación del DPPM

El temporizador de seguridad se ajusta dinámicamente en el modo DPPM. El voltaje en el pin de ISET1 está directamente programado conforme a la corriente de carga. Cuando la corriente de carga programada es reducida, debido a la DPPM, los voltajes de ISET1 y TMR son reducidos y el reloj del temporizador es proporcionalmente disminuido, se amplía el tiempo de seguridad. En la operación normal $V(TMR) = 2.5 V$; y cuando se retrasa el reloj, $V(TMR)$ es reducido. Cuando $V(TMR) = 1.25 V$, el temporizador de seguridad tiene un valor cercano a dos veces el valor normal del funcionamiento del temporizador.

3.3.7 Monitorización de la temperatura en la batería

El bq24071 continuamente monitorea la temperatura de la batería mediante la medición de la tensión entre los pines TS y VSS. Una fuente de corriente interna proporciona las vías mas comunes en el termistor con coeficiente negativo de temperatura (NTC) (ver en la *figura3.9*). El dispositivo compara la tensión en el pin de TS en contra de la interna $V_{(LTF)}$, y $V_{(HTF)}$ que son los principales que determinan si la carga está permitida. Una vez que la temperatura fuera de la $V_{(LTF)}$ y la entrada $V_{(HTF)}$ son detectadas, el dispositivo inmediatamente suspende la carga. El dispositivo suspende la carga cortando la corriente FET y manteniendo el valor del temporizador (es decir, los temporizadores no se restablecen). La carga se reanudará cuando la temperatura vuelve a la del rango normal. El rango de temperatura permitido para el tipo 103AT-termistor es de 0°C a 45°C . Sin embargo, podremos aumentar el rango agregando dos resistencias externas

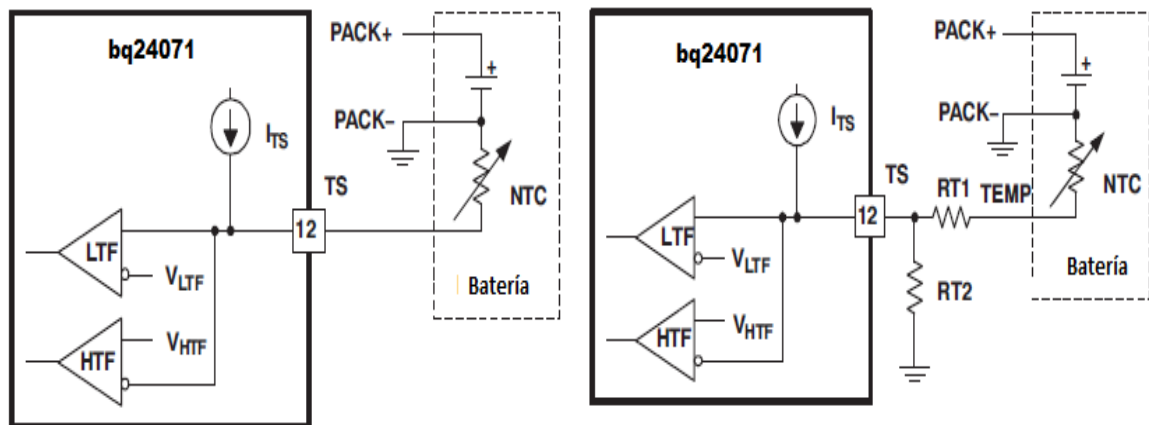


Figura 3.9 Monitoreo de la temperatura en la batería

3.3.8 Preparación de la batería

Durante un ciclo de carga, si el voltaje de la batería es inferior a la $V_{(LOWV)}$ inicial, el bq24071 aplica una precarga de corriente, $I_O (PRECHG)$, a la batería. Esta característica revive las células profundamente descargadas. La resistencia de R_{SET} , conectada entre los pines ISET1 y VSS, determina el rango de precarga. El $V_{(PRECHG)}$ y $K_{(SET)}$, son parámetros

especificados en la tabla. Tenemos en cuenta que esto se aplica tanto a AC-modo y el modo de carga USB.

$$I_{O(PRECHG)} = \frac{V_{(PRECHG)} \times K_{(SET)}}{R_{(SET)}} \quad (3.2)$$

PARAMETROS		CONDICIONES DE PRUEBA	MIN	TIPO	MAX	UNIDAD
$V_{(SET)}$	La corriente de carga de la batería coloca el voltaje	Voltaje en ISET1, $V_{VCC} \geq 4.35\text{ V}$, $V_{I(OUT)} - V_{I(BAT)} > V_{(DO-MAX)}$, $V_{I(BAT)} > V_{(LOWV)}$	2.47	2.50	2.53	V
$K_{(SET)}$	La corriente de carga se colocara en el factor BAT	$100\text{ mA} \leq I_{O(BAT)} \leq 1.5\text{ A}$	375	425	450	
		$10\text{ mA} \leq I_{O(BAT)} \leq 100\text{ mA}^{(7)}$	300	450	600	

TERMINAL DE CARGADO Y PRECARGADO DE BAT			MIN	TIPO	MAX	UNIDAD
$V_{(LOWV)}$	Inicio de transición de precargado a cargado rápido	Voltaje de la batería	2.9	3	3.1	V
$T_{DGL(F)}$	Tiempo de transición de precargado a cargado rápido	$t_{FALL} = 100\text{ ns}$, 10 mV $V_{I(BAT)}$ decrementa		22.5		ms
$I_{O(PRECHG)}$	Rango de precargado	$1\text{ V} < V_{I(BAT)} < V_{(LOWV)}$, $t < t_{(PRECHG)}$, $I_{O(PRECHG)} = (K_{(SET)} \times V_{(PRECHG)}) / R_{SET}$	10		150	mA
$V_{(PRECHG)}$	Voltaje en el precargado	$1\text{ V} < V_{I(BAT)} < V_{(LOWV)}$, $t < t_{(PRECHG)}$	225	250	275	mV

Tabla 3.3 Parámetros de preparación de la batería

3.3.9 Corriente de carga en la batería

El integrado bq24071 muestra una regulación de corriente con punto de ajuste programable. La resistencia de R_{SET} , conectada entre el ISET1 y el pin de VSS, determina el nivel de carga. El nivel de carga puede reducirse al dar prioridad del sistema de entrada de corriente (ver DPPM). El $V_{(SET)}$ y $K_{(SET)}$ son los parámetros que se van a especificar como ya antes mencionado en la *tabla 3.3*.

$$I_{O(OUT)} = \frac{V_{(SET)} \times K_{(SET)}}{R_{(SET)}} \quad (3.3)$$

El nivel de carga, durante el funcionamiento en modo AC (Mode = Alta), puede ser cambiado por dos factores, mediante el establecimiento de la ISET2 en pin alta (carga completa) o baja (carga media). El voltaje en el pin de ISET1, VSET1, se divide en 2 cuando el modo de carga de corriente constante esta en media. Se considera que con el modo de bajo consumo, el pin ISET2 controla sólo el 0,1 A/0.5 A en el nivel de corriente en USB.

3.3.10 Regulación de voltaje de la batería

La respuesta de regulación de voltaje es a través del pin BAT. Esta entrada está directamente vinculada con el lado positivo de la batería. El bq24071 monitorea el voltaje de la batería de entre los pines BAT y de VSS. Cuando el voltaje de la batería se eleva al $V_{O(REG)}$ inicial, la fase de regulación de voltaje empieza y la corriente de carga comienza a disminuir.

Si la batería está ausente, comienzan a realizarse los ciclos del pin BAT entre la carga realizada ($V_{O(REG)}$) y de carga (recarga de la batería límite, ~ 4.1 V).

Como una copia de seguridad, el bq24071 también monitorea el tiempo de carga en el modo de carga. Si la carga no se termina dentro de este período de tiempo, $t_{(CHG)}$, el bq24071 apaga el cargador y enuncia FAULT por los pines STAT1 y STAT2. Se puede observar la operación DPPM en el caso de modo AC para obtener información sobre aplicación del temporizador de seguridad durante la operación DPPM.

3.4 Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados que poseen características semejantes a las de un equipo de cómputo. Pueden ser programados para realizar una establecida operación, poseen alta integración y su costo es relativamente bajo. El término de microcontrolador deriva de controlador, controlador un dispositivo que admite el operar uno o más procesos, y micro por su tamaño en comparación con otros dispositivos [15].

3.4.1 Características de los microcontroladores

En un microcontrolador encontramos las características básicas de una computadora en un solo paquete, encontramos su propia memoria como sus propios puertos de entrada y salida. No es una comparación directa con una computadora completa, pero su programación puede alcanzar un alto nivel de especialización el cual llega a ser de gran apoyo para procesos de fabricación, motorizaciones, evaluaciones etc.

3.4.2 Microcontrolador PIC16F84

Este microcontrolador ha tenido una gran aceptación y desarrollo en los últimos años gracias a sus buenas características, bajo costo, reducido consumo, calidad notable, confiabilidad y gran cantidad de información, lo hacen muy fácil y rápido de utilizar.

El PIC16F84 esta encapsulado en un DIL de 18 pines (*Figura 3.10*).Debido a su gran cantidad de aplicaciones y facilidad es uno de los microcontroladores más utilizados en la elaboración de proyectos prácticos [14].

Normalmente se alimenta con 5 voltios aplicados en los pines VDD y VSS que son las terminales de alimentación y la tierra del chip respectivamente.

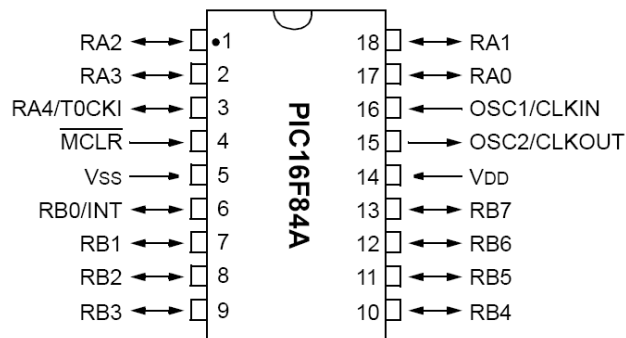


Figura 3.10 Terminales del PIC16F84A

Nombre	Nº	Tipo	Descripción
OSC1/CLKIN	16	I	Entrada del oscilador a cristal/Entrada de la fuente de reloj externa
OSC2/CLKOUT	15	O	Salida del oscilador a cristal. En el modo RC, es una salida con una frecuencia de $\frac{1}{4}$ OSC1
MCLR	4	I/P	Reset/Entrada del voltaje de programación.
RA0	17	I/O	Puerto A bidireccional, bit 0
RA1	18	I/O	Puerto A bidireccional, bit 1
RA2	1	I/O	Puerto A bidireccional, bit 2
RA3	2	I/O	Puerto A bidireccional, bit 3
RA4/T0CKI	3	I/O	También se utiliza para la entrada de reloj para el TMR0
RB0/INT	6	I/O	Puerto B bidireccional, bit 0 Puede seleccionarse para entrada de interrupción externa
RB1	7	I/O	Puerto B bidireccional, bit 1
RB2	8	I/O	Puerto B bidireccional, bit 2
RB3	9	I/O	Puerto B bidireccional, bit 3
RB4	10	I/O	Puerto B bidireccional, bit 4 Interrupción por cambio de estado
RB5	11	I/O	Puerto B bidireccional, bit 5 Interrupción por cambio de estado
RB6	12	I/O	Puerto B bidireccional, bit 6 Interrupción por cambio de estado
RB7	13	I/O	Puerto B bidireccional, bit 7 Interrupción por cambio de estado
Vss	5	P	Tierra de referencia
Vdd	14	P	Alimentación

Tabla 3.4 Propiedades descriptivas del PIC16F84

3.4.3 Características del PIC16F84A

- Todas las instrucciones se ejecutan en un solo ciclo excepto las de salto que necesitan dos.
- Versiones para bajo consumo (16LF84A), de 4 MHz (PIC16F84A-04) y 20 MHz (PIC16F84A-20). Un ciclo máquina del PIC son 4 ciclos de reloj, por lo cual si tenemos un PIC con un cristal de 4 MHz, se ejecutarán 1 millón de instrucciones por segundo.
- Memoria de programa Flash de 1 K x 14 bits.
- Memoria RAM dividida en 2 áreas: 22 registros de propósito específico (SFR) y 68 de propósito general (GPR) como memoria de datos.
- 15 registros de funciones especiales.
- Memoria de datos RAM de 68 bytes (68 registros de propósito general).
- Memoria de datos EEPROM de 64 bytes.
- Contador de programa de 13 bit (lo que en teoría permitiría direccionar 4 KB de memoria, aunque el 16F84 solo dispone de 1KB de memoria implementada).
- Pila con 8 niveles de profundidad.
- ALU de 8 bits y registro de trabajo W del que normalmente recibe un operando que puede ser cualquier registro, memoria, puerto de Entrada/Salida o el propio código de instrucción.
- 4 fuentes de interrupciones:
 - A través del pin RB0/INT.
 - Desbordamiento del temporizador TMR0.
 - Interrupción por cambio de estado de los pins 4:7 del Puerto B.
 - Completada la escritura de la memoria EEPROM.
- 1.000.000 de ciclos de borrado/escritura de la memoria EEPROM.
- 40 años de retención de la memoria EEPROM.

3.4.4 Información PCF8591

Este es un circuito integrado que por medio de dos líneas comunica a nuestro respectivo microcontrolador con el mundo analógico.

El PCF8591 es un dispositivo conectable en comunicación I²C, que es un convertidor Digital-Analógico DAC de 8 bits, así como un convertidor Analógico-Digital ADC de 8 bits, con cuatro entradas analógicas [16].

Este dispositivo es fabricado por la compañía Philips Semiconductors en un encapsulado de 16 pines con las funciones que se encuentran en la *figura 3.11*.

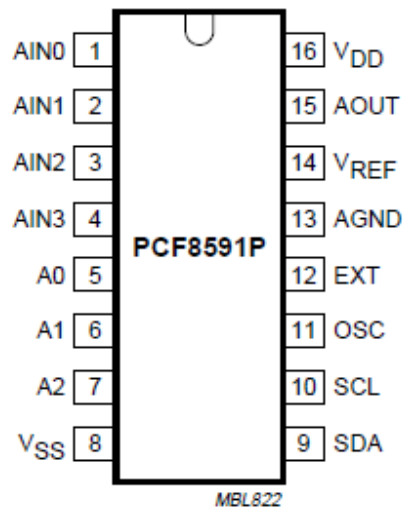


Figura 3.11 Terminales del PCF8591P

TERMINAL	FUNCION
AIN0.....AIN3	Entradas analógicas
SCL	Línea de reloj del bus I ² C
SDA	Línea de datos del bus I ² C
A0,A1 y A2	Entradas de dirección. Permite conectar varios PCF8591 en el mismo circuito variando la dirección de cada uno de ellos.
V _{DD} y V _{SS}	Alimentación. Entre 2.5 a 6 V, siendo 5 V su valor típico
OSC	Entrada o salida del oscilador
EXT	Selector de oscilador externo o interno
AGND	Masa analógica
V _{REF}	Entrada de tensión de referencia
AOUT	Salida analógica, proporciona una corriente máxima de 20 mA

Tabla 3.4 Propiedades descriptivas del PCF8591

3.4.5 Regulador de voltaje

El funcionamiento de un regulador de voltaje consiste en recortar el voltaje suministrado, de manera que cuando llegue al valor deseado se mantenga en este sin aumentar. En este subtema se expondrán los reguladores de tres patillas fijos. Todo circuito electrónico contiene alguna forma de alimentación eléctrica, y estos reguladores integrados proveen una solución sencilla a este problema [13].

Podremos encontrar varias maneras de lograr un voltaje estable, pero en general se utilizan varios componentes discretos, lo que nos totalizaría un costo elevado, un diseño más complejo y circuitos más espaciosos.

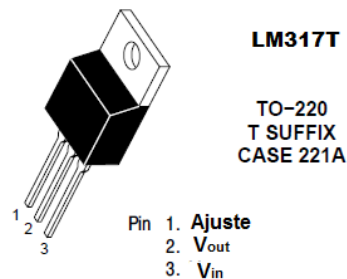
3.4.6 Regulador LM317

La alternativa a utilizar es el LM317 que es una fuente de voltaje ideal para necesidades de una salida de voltaje variable (1.5 V a 15.0 Voltios) con capacidad de entrega de corriente continua de hasta de 1.5 Amperios.

Si se utiliza el LM317 solo se obtienen 500 mA a la salida, suficiente para muchas aplicaciones, pero en nuestro caso utilizaremos el LM317T porque puede entregar más corriente.

Este dispositivo tiene protección contra sobrecarga que evita el integrado se quemara accidentalmente debido a un corto circuito.

Este regulador de voltaje es extraordinariamente fácil de usar y requiere sólo dos resistencias externas para establecer el voltaje de salida. Además, emplea limitación de corriente interna, apagado térmico y compensación de zona segura. Capaz de abastecer mas de 1.5 A sobre un rango de voltaje de salida de 1.2 V a 37 V.



3.12 Regulador de voltaje LM317T

3.4.7 Resistencia variable

La resistencia variable es un dispositivo que tiene un contacto móvil que se mueve a lo largo de la superficie de una resistencia de valor total constante.

Este contacto móvil se llama cursor o flecha y divide la resistencia en dos resistencias cuyos valores son menores y cuya suma tendrá siempre el valor de la resistencia total.

3.4.8 Dieléctrico o aislante

Un dieléctrico o aislante es un material que evita el paso de la corriente, y su función es aumentar la capacitancia del capacitor.

Los diferentes materiales que se utilizan como dieléctricos tienen diferentes grados de permitividad (diferente capacidad para el establecimiento de un campo eléctrico).

Material	Permitividad relativa(ϵ_r)
Vacío	1
Aire	1,0059
Polietileno	2,5
Porcelana	5...6
Mica	7
Pentóxido Tántalo	26
Cerámica	10 a 50000

Tabla 3.6 Permitividad relativa en algunos materiales

Mientras mayor sea la permitividad, mayor es la capacidad del condensador. La capacitancia de un condensador está dada por la fórmula:

$$C = E_r \times (A/d) \quad (3.4)$$

Donde:

C = capacidad

E_r = permitividad relativa

A = área entre placas

d = separación entre las placas

La unidad de medida de un capacitor es el faradio. Hay submúltiplos como el mili Faradio (mF), microfaradio (uF), el nano Faradio (nF) y el picofaradio (pF). Las principales características eléctricas de un condensador son su capacidad o capacitancia y su máxima tensión entre placas (máxima tensión que es capaz de aguantar sin dañarse).

3.4.9 Disipador de potencia

El estudio térmico de los dispositivos de potencia es fundamental para un rendimiento óptimo de los mismos. Esto es debido a que en todo semiconductor, el flujo de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor. El calor produce un incremento de la temperatura del dispositivo. Si este incremento es excesivo e incontrolado, inicialmente provocará una reducción de la vida útil del elemento y en el peor de los casos lo destruirá

Su funcionamiento se basa en la segunda ley de la termodinámica, transfiriendo el calor de la parte caliente que se desea disipar al aire. Este proceso se propicia aumentando la superficie de contacto con el aire permitiendo una eliminación más rápida del calor excedente

El segundo principio de la termodinámica es la ley de la física que afirma que las diferencias entre un sistema y sus alrededores tienden a igualarse. Esto se interpreta como la ley de la física de la que se deriva que las diferencias de presión, densidad y, particularmente, las diferencias de temperatura tienden a igualarse.

CAPÍTULO 4

INSTRUMENTACION Y METODOLOGIA

En este capítulo se definirán los materiales utilizados, los instrumentos y la metodología aplicada en el proyecto.

-El primer avance fue la regulación de voltaje y potencia obtenida por el panel solar, en donde obtenemos un voltaje muy superior al que se requiere y para esto se diseña un regulador de voltaje capaz de proporcionarnos una tensión y amperaje con parámetros de desempeño requeridos.

-El paso mas importante es conectar el circuito propuesto para la obtención del voltaje obtenido de un panel solar, el cual hay que regularizar conforme a los cálculos realizados para la optimización del potencial requerido.

-Se plantea la elaboración de un circuito lector de voltaje, el cual documentara el voltaje de salida del circuito propuesto hacia la batería de Li-Ion, esta constituido por un microcontrolador manejable como lo es el PIC16F84.

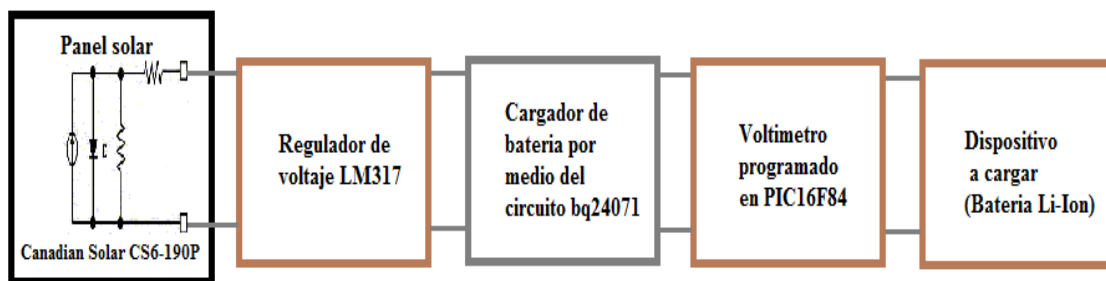


Figura 4.1 Diagrama de bloques del sistema de carga propuesto

4.1 Instrumentación

4.1.1 Osciloscopio digital: Hewlett Packard 54603B 60 Hz

Las habilidades de un osciloscopio es mostrarnos las señales en formas de onda. Nos muestra las señales en tiempo real, debido a que cuenta con una grabadora de datos, esta convierte señales analógicas a datos digitales.

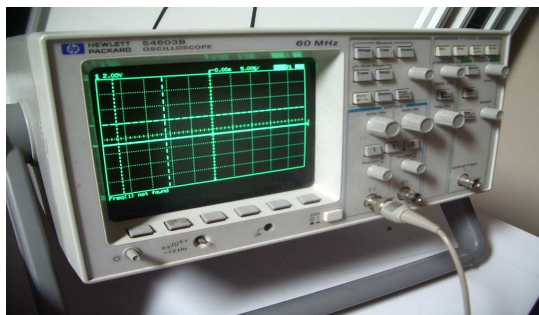


Figura 4.2 Osciloscopio digital

4.1.2 Multímetro: Hewlett Packard 34401

El multímetro es un instrumento electrónico de medición con el cual calculamos voltaje, resistencia y corriente. Gracias al multímetro podemos comprobar el correcto funcionamiento de los componentes y circuitos electrónicos. Este tipo de multímetro que es un poco más grande pero más exacto que los portátiles, fue utilizado para pruebas en el laboratorio ya que era más demandante si se usaba en pruebas de campo.



Figura 4.3 Multímetro HP

4.1.3 Fuente: Agilent E3648A 0-8v

Debido a que en un inicio las pruebas y los cálculos sobre el circuito fueron en el laboratorio, un modo mas viable de hacer las investigaciones, fue simular la corriente que nos otorgaría el panel por medio de una fuente de poder. La cual nos puede proporcionar dos tipos de rango de voltaje van desde 0 a 8 V hasta 5 A y el otro que esta entre 0 a 20 V hasta 2.5 A todo esto regulado a una potencia entre los 100W. Estas especificaciones adecuadas para los cálculos que se han realizado para el optimo desempeño del circuito.



Figura 4.4 Fuente de poder Agilent

4.1.4 Multímetro Portátil

Tiene las mismas funciones que el Multímetro HP utilizado en el laboratorio, medir corriente, voltaje y resistencia de cualquiera de los circuito, pero es mas practico ya que se puede trasportar con mas facilidad, además de que no necesita de una fuente de alimentación puesto que cuenta con baterías. El inconveniente que tiene es que sus cálculos registrados no son tan precisos como el ya antes mencionado. Pero esto no es de preocupación a causa de que los voltajes obtenidos son notoriamente parecidos.

4.1.5 Computadora Toshiba Satellite A215

La maquina fue adquirida especialmente para la elaboración del proyecto ya que es esencial el trasladar la información de un lugar a otro, en particular la elaboración de pruebas de campo y obtener datos de importancia que se encuentren en internet. La computadora cuenta con el recurso necesario para diseño y simulación de los circuitos, documentar información, navegación de internet, entre muchas cosas más.

4.1.6 Cámara Fotográfica Optio Pentax

Un dispositivo esencial para documentar los datos obtenidos y compararlos con pruebas anteriores, obteniendo los requerimientos solicitados en imágenes.

4.1.7 Computadora DELL

Esta terminal fue utilizada en las cuestiones de que la otra computadora no estaba a disposición. Se utilizo para diseño de la base panel solar, diseño de circuitos y cálculos a realizar en determinado momento. Cuenta con muy buenos recursos de procesamiento, las simulaciones fueron realizadas en su totalidad con éxito.

4.2 Materiales utilizados

Cautín: Se utilizó cautín tipo lápiz para trabajo ligero, es muy fácil y cómodo su uso.

Soldadura SOL60-100: rollo de soldadura de 100 gramos, 1mm de diámetro especial para soldar circuitos, composición 60% estaño 40% plomo.

Cables#32: se utilizó este tipo de cable por su fácil manejo y minimiza la manipulación en el empalme con la soldadura en acoplamiento con otro.

Tablillas perforadas ESTEREN 155: Se utilizaron tablillas perforadas para la elaboración de prototipos de los circuitos planeados.

Flux: STEREN modelo k-25 para soldado rápido

Desarmador plano: Una herramienta que fue de mucha utilidad para los ajustes requeridos por las resistencias variables tanto del regulador de voltaje como del EVMbq24071

Pinzas de corte y planas: Son instrumentos muy necesarios para cortar los cables necesarios en el desarrollo del armado de prototipo.

Extensión de toma corriente: Se utilizaron dos extensiones de 4.6 metros, empleándolas en el encendido de varios dispositivos en las pruebas de campo.

4.2.2 Circuito regulador de voltaje

Regulador LM317T: se utilizó durante las pruebas con el panel solar para regular la tensión de 32 volts a 4.8 volts de entrada al circuito propuesto

Tablilla perforada: Aquí instalamos el circuito

Capacitor electrolítico y cerámico: El capacitor electrolítico requerido para estabilidad fue de $1\mu\text{F}$ de 50 v y el cerámico porque el regulador se encuentra a una distancia considerable del filtro de la fuente, se utilizó el de $0.1\mu\text{F}$

Resistencia Variable y 240Ω : La resistencia variable se utilizó para la calibración del voltaje requerido por el circuito.

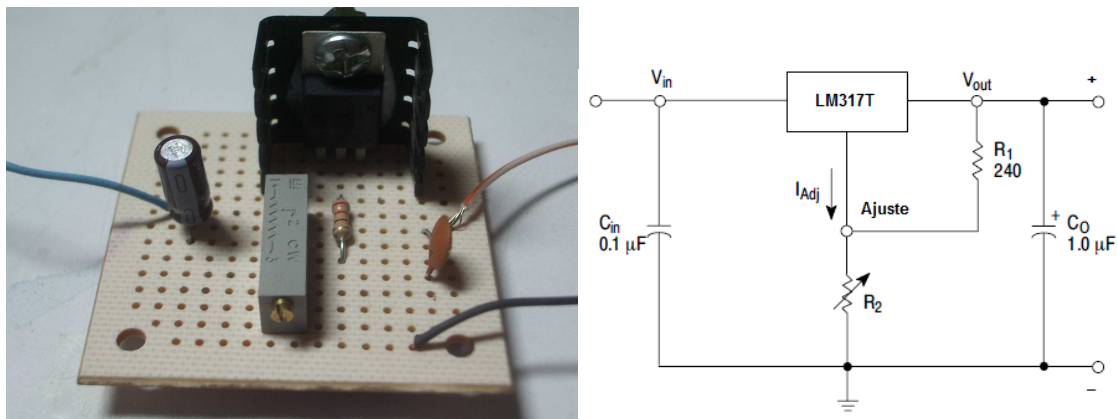


Figura 4.5 Regulador de voltaje y circuito propuesto

4.3 Determinación del EVMbq24071

Como se requería del integrado bq24071 para la obtención de energía eléctrica, se optó por el EVMbq24071 que es un módulo de evaluación, este nos ofrece un método práctico para ajustar el desempeño de una administración de carga y solución de alimentación del sistema para aplicaciones portátiles utilizando la familia de productos de bq24071, se hicieron cálculos para que el diseño pueda ofrecer hasta 1.5 A de corriente continua en el sistema o el cargador para aplicaciones de ion-litio o Li-polímero de una celda usando una

fuentes de alimentación de DC. El cargador está programado desde la fábrica para ofrecer 1 A de corriente.

Estas son las consideraciones que se tomaron para las pruebas y uso del circuito integrado bq24071. Las dos fuentes potenciales para alimentar el sistema (V_{OUT}) son: IN (adaptador o fuente USB) y la batería. El CI está diseñado para alimentar el sistema continuamente. La batería, en la mayoría de los casos, es la última línea de copia de seguridad. Si el adaptador o USB de entrada no está disponible (o deshabilitado), la batería se conecta al sistema. En condición de regulación térmica ($T_J = 125^\circ\text{C}$ — no es una primera opción en el diseño de operación), la corriente de carga se reduce a la batería y el sistema todavía obtiene su energía de la entrada. El suplemento de la batería todavía está disponible en la regulación térmica si V_{OUT} cae a V_{BAT} . En el corte térmico ($\sim 155^\circ\text{C}$), las fuentes de entrada están desconectadas, pero la batería interna FET se conecta de la batería a V_{OUT} .

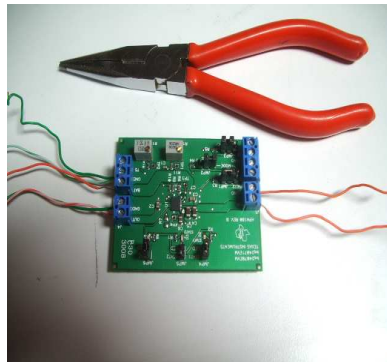


Figura 4.6 EVMbq24071

Hay dos tipos de corto circuito en el pin OUT, uno está asociado con la entrada en el pin IN ($V_{OUT} < 1\text{V}$) y el otro está asociado con el pin BAT ($v_{bat} - v_{out} > 200\text{ mV}$). Para el corto circuito BAT, la batería FET abre si un corto en V_{OUT} extrae más de $\sim 4\text{ A}$ de corriente ($> 200\text{-mV}$ colocándolo a través de la FET de BAT) de la batería. El método de recuperación es de una fuente de corriente de 10 mA entre las terminales BAT y OUT, es tan corto que cualquier carga de sistema debe eliminarse antes de que el pin de salida se pueda recuperar en 200 mV de V_{BAT} . Tengo en cuenta que la corriente inicial es $\sim 10\text{ mA}$

con el pin OUT cerca de 0 V, pero cae a ~ 2 mA y el pin OUT supera 1 V. Para el corto circuito IN a OUT, el pin OUT es menor que 1 V, el método de recuperación es por una resistencia de 500Ω de IN a OUT. Debe reducirse la carga del sistema ($> 200\Omega$) tal que la elevación de tensión puede extraer V_{OUT} por encima de 1 V.

4.3.1 Características del EVMbq24071

Durante las pruebas se pudo constatar de que cuando no hay ningún poder en el sistema y la batería está conectada, la tensión del pin BAT conduce al pin OUT la tensión, debido a la capacitancia del sistema, y el resultado puede entrar en modo de corto circuito de BAT. Para evitar esto, existe una característica que tiene el pin DPPM. Si el voltaje del pin DPPM se mantiene por debajo de 1 V, entonces la función de cortocircuitos está deshabilitado. Por lo tanto, la colocación de un pequeño condensador (~ 1 nF a 10 nF) a través de los retrasos de la resistencia DPPM, el cortocircuito de protección en la entrada se enciende por unos microsegundos.

Otra característica que protege la integridad del sistema es la administración de las rutas de energía dinámica (DPPM). El voltaje en el pin DPPM ($DPPM_{in}$) multiplicado por un factor de escala de ~ 1.15 es el voltaje $DPPM_{out}$. El voltaje de $DPPM_{out}$ es el voltaje crítico, donde la corriente de carga de la batería será reducida para evitar que la tensión del sistema (V_{out}) de un descenso adicional. Una característica especial a tener en cuenta es que, cuando estamos en el modo DPPM, el temporizador oscilador interno es demorado en proporción a la reducción de la corriente programada por el cargador. Esto permite que los temporizadores (seguridad y otros) puedan ajustarse adecuadamente durante la operación. Por lo tanto, al realizar cualquier prueba donde se mida el tiempo, ahí que tener en cuenta este factor de ajuste. El MODO (alto / bajo), establece que la fuente de entrada está presente (o adaptador USB).

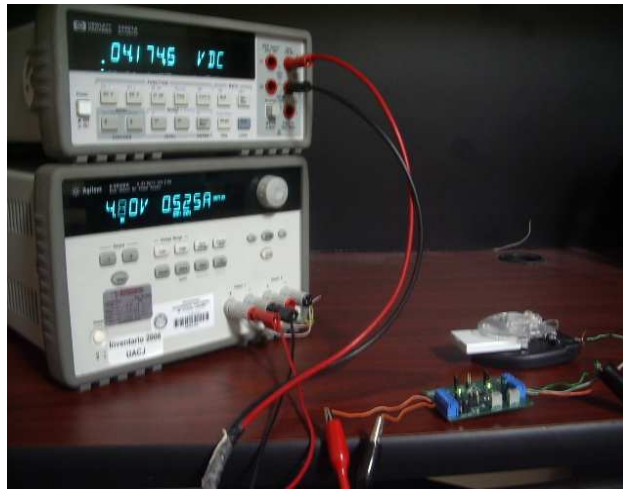


Figura 4.7 Módulo EVMbq24071 cargando una batería

4.3.2 Caracterización del modulo

Para encontrar el optimo desempeño del modulo buscando la máxima potencia trasferida a la pila de Li-ion se realizaron las siguientes pruebas que fueron documentadas para su análisis.

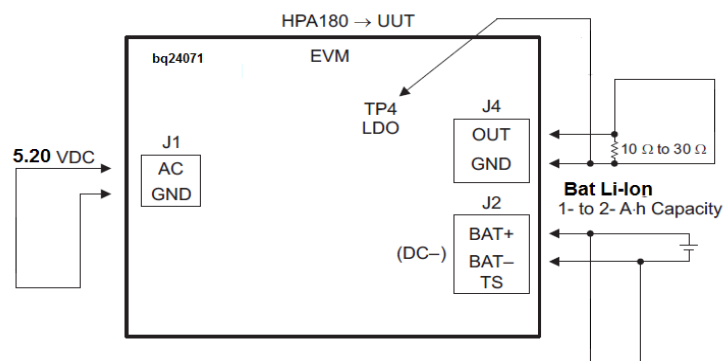


Figura 4.8 Diagrama del UUT

- 1- Se establecieron los siguientes puentes en el UUT como sigue: JMP1 a 0,5; JMP2 a HI; JMP3 a EN instale los puentes en el JMP4 y el JMP6.
- 2- Ajusto R_DPPM hasta que TP1 sea $35.7 \text{ k}\Omega \pm 0.1 \text{ k}\Omega$ con respecto a tierra y ajuste R_TMR hasta que TP2 sea $50 \text{ k}\Omega$ con respecto a tierra.
- 3- Comprobé que V_{OUT} es aproximadamente igual a V_{BAT} (Si $V_{OUT} < 1.1 \text{ V}$, la salida está en el modo de corto circuito. Para salir de este modo, momentáneamente desconecte la carga soportada por la OUT).
- 4- Encendí la fuente para proporcionar 5.20-VDC a la UUT
- 5- Comprobé que V_{BAT} esta entre 2.4 VDC y 3 VDC, y el cargador está en estado de pre-charge: Los leds STAT1 (D2), STAT2 (D3), y ACPG (D1) están prendidos. Si V_{BAT} esta por poco arriba de bajo voltaje ($V_{(LOWV)} \sim 3 \text{ V}$), entonces el CI esta en el modo de carga rápida [STAT2 (D3) está desactivado (alto)].
- 6- Hay que comprobar que I_{BAT} es $\sim 0.1 \text{ A}$ ($I_{BAT} \sim I_{IN} - (V_{OUT} / R_{OUT}) - 0.01 \text{ A}$)
- 7- Se verifico que V_{OUT} esta entre 4.8 VDC y 5.5 VDC ($V_{IN} - V_{DO}$) para el CI bq24071
- 8- Se demuestra que V_{LDO} (TP4) esta entre 3.2VDC y 3.4 VDC.
- 9- Deje que la batería se cargue hasta que V_{BAT} se encuentre entre 3,2 VDC y 4.0 VDC. El cargador debe entregar la corriente constante programada a la batería, a menos que la entrada no nos proporcione la corriente necesaria.
- 10- Se comprueba que D3 (STAT2) ha sido desactivado
- 11- . Hay que verificar que I_{BAT} es $\sim 1.0 \text{ A}$ [para una resistencia de $10\text{-k}\Omega$ en ISET1, $I_{BAT} \sim I_{IN} - (V_{OUT} / R_{out}) - 0,01 \text{ A}$].
- 12- . Se aplico un puente entre J3-4 (CE) y J3-3 (GND) sobre el UUT. Esto reemplazara el JMP3 $100\text{-k}\Omega$ que eleva la tensión, se deshabilita el cargado, pone la CI en modo de bajo consumo y se conecta la batería al pin OUT.
- 13- Se verifica que D2 (STAT1) ha sido desactivado.
- 14- Se compruebe que I_{IN} cae por debajo de 10 mA
- 15- Las mediciones tomadas demuestran que V_{OUT} está dentro de $- 50 \text{ mV}$ del V_{BAT}

- 16- Se prosigue a remover el puente entre J3-4 y J3-3 sobre UUT. Se puede confirmar que D2 (STAT1) se ha activado, la carga se ha reanudado y V_{OUT} se alimenta a partir de la entrada.
- 17- Se suspende el suministro de 5,25-VDC en la entrada IN del UUT. Verifico que V_{OUT} está dentro de -50 mV de V_{BAT} y D2 (STAT1), y esta desactivado el led de D1 (PG). Esto demostró el respaldo de energía de batería por pérdida de la fuente de alimentación.
- 18- Se vuelve conectar la fuente y suministrar $+5.20\text{-VDC}$ a la entrada IN del UUT. Y se comprueba que la salida de V_{out} no ha bajado. Se confirma que se encienden los leds de D2 (STAT1) y de D1 (PG).
- 19- Reduje el limite de corriente de la fuente en la entrada a $\sim 1\text{ A}$ (al pin IN de la UUT) y comprobé que V_{OUT} ha disminuido el nivel de VDPPM de $\sim 4.2\text{ V}$ [$(3.57\text{ V at TP1}) \times 1.15 = 4.1\text{ V}$] Tengo en cuenta que la corriente de la pila esta entre $\sim 590\text{ mA}$, que se ha reducido para mantener la salida al caer por debajo de la salida programada de DPPM de 4.1 V . Esto demuestra la operación de DPPM (cargando la corriente para la batería se reduce si la salida cae hasta el inicio de tensión de salida de DPPM intentando mantener el voltaje de salida al bajarlo aún más).

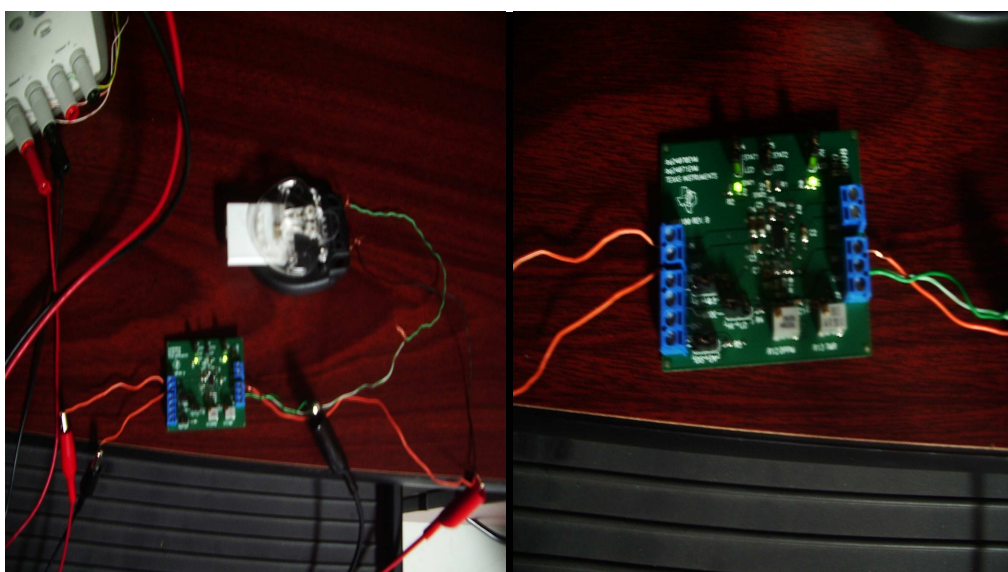


Figura 4.9 Aplicación de las pruebas realizadas

4.4 Elaboración del circuito con función de voltímetro

Se confecciono este circuito por medio de un PIC16F84A y un PCF8591 para tener una mejor referencia del voltaje de salida de del EVMBq24071, su programa se detalla mas adelante.

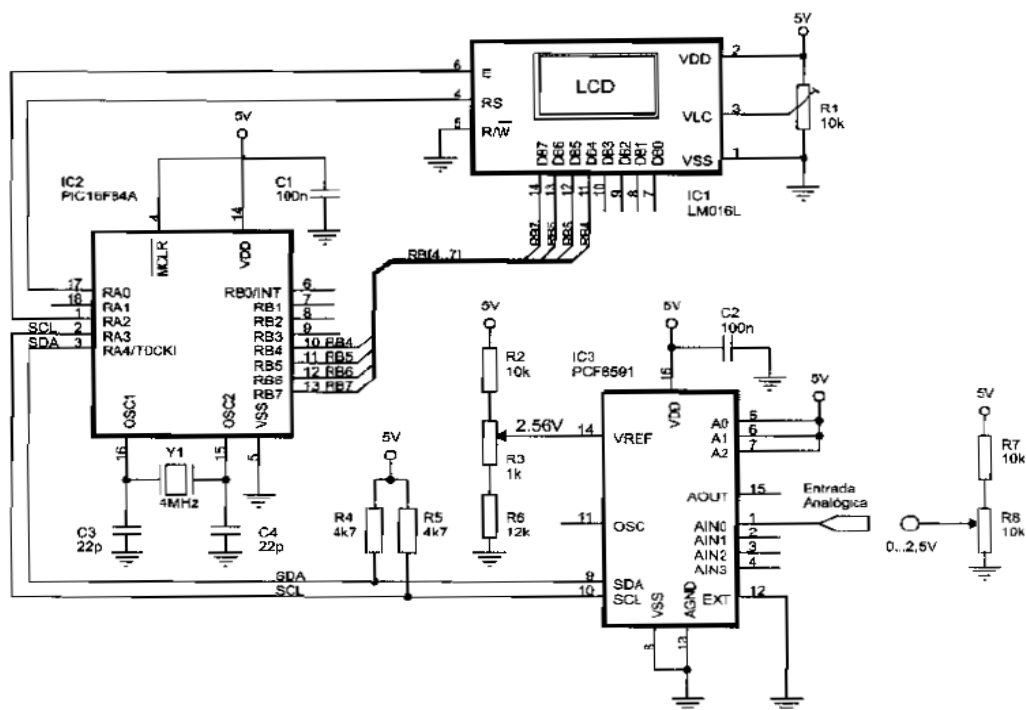


Figura 4.10 Diagrama de voltímetro usando el PIC16F84 y PCF8591

La entrada analógica se aplica en el pin AIN0. El resto de las entradas analógicas no se utiliza. La salida digital convertida se lee a través del bus I²C.

La tensión aplicada al VREF es de 2.56 V para conseguir una resolución de 10 mV. Un generador interno proporciona la señal de reloj necesaria para el ciclo de conversión ADC, siempre que el pin EXT este conectado a tierra. En el pin OSC se dispone de la frecuencia de oscilación.

4.4.1 Diseño del circuito en Proteus

La estructura del circuito con el cual se va medir la tensión de salida del modulo EVMbq24071, fue diseñada en el generador ARES PCB *Layout* de Proteus, en este se utilizo el regulador de voltaje LM7805. En esta sección se muestra la *figura 4.10* de como estará el circuito impreso constituido. Es decir el modelo base para ensamblar todo el sistema de monitoreo de voltaje.

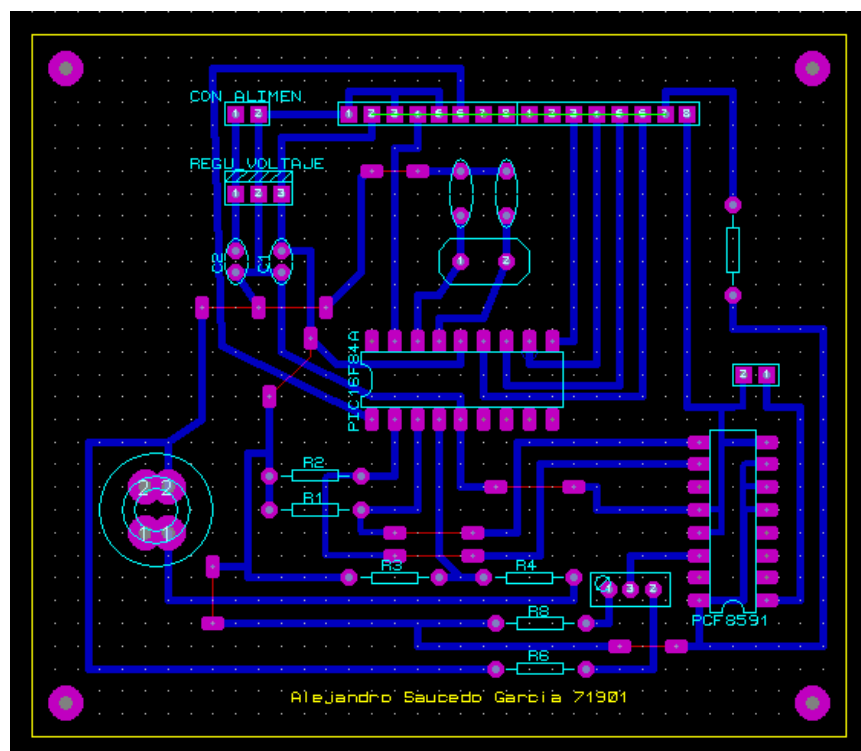


Figura 4.11 Circuito impreso del voltímetro

4.4.2 Construcción de la tablilla para la medición de voltaje

A continuación se muestra como queda constituida la estructura diseñada, para la medición de voltaje en un plano donde podemos apreciar desde un mejor ángulo la perspectiva de los circuitos integrados a utilizar así como los componentes eléctricos que la confeccionan.

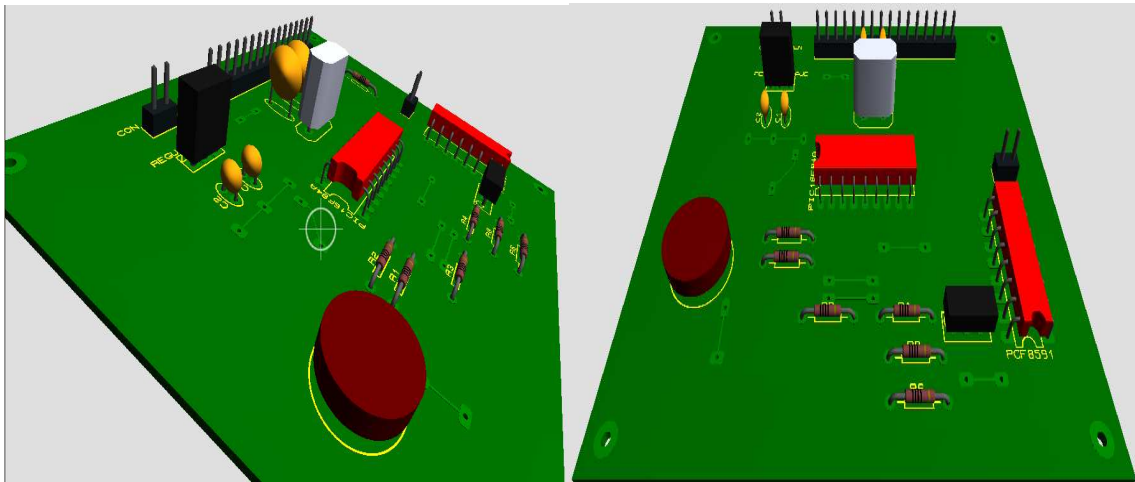


Figura 4.12 Diseño de la estructura

En las imágenes anteriores se pueden apreciar con detalle los componentes, que ya se encuentran establecidos en su posición con respecto al circuito establecido, esta es una herramienta muy útil, por que se puede dar una representación de cómo llega a establecerse.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 Recolección de energía por medio del panel solar

El origen de la corriente I_{PH} genera una corriente proporcional a la cantidad de luz que recaiga sobre la celda. Sin carga conectada, casi toda la corriente generada fluye a través de diodo D, cuya tensión hacia adelante determina la tensión de circuito abierto de la celda solar (VOC). Esta tensión varía un poco con las propiedades exactas de cada tipo de celda solar. Pero para la mayoría de las células de silicio, es en el rango entre 0.5V y 0.6V, que es el voltaje de avance normal de un diodo de Unión de p-n. La resistencia en paralelo (RP) representa una pequeña corriente de fuga que se produce en las células de las prácticas, mientras que r representa las pérdidas de conexión. A medida que aumenta la corriente carga, más de la corriente generada por la celda solar sea desviado lejos el diodo y en la carga. Para la mayoría de los valores de corriente de carga, esto tiene sólo un pequeño efecto sobre el voltaje de salida.



Figura 5.1 Panel solar tomando carga

5.2 Origen de la corriente I_{PH} .

Hay un pequeño cambio debido a la característica de-V del diodo. También hay una caída de tensión pequeña debido a la resistencia en serie (R_S), pero el voltaje de salida sigue siendo en gran medida constante. Sin embargo, la corriente que fluye a través del diodo interno es tan pequeña que se convierte en insuficientemente, y el voltaje a través de ella disminuye rápidamente con el aumento de la corriente de carga. Por último, cuando toda la corriente generada fluye a través de la carga y ninguno a través del diodo, el voltaje de salida es cero. Esta corriente es conocida como corriente de cortocircuito de la celda solar (ISC). Junto con VOC, es uno de los principales parámetros que ahí que definir para saber su rendimiento operativo. Por lo tanto, ya había sido mencionado en el capítulo 3 que la celda solar es considerada una fuente de alimentación de la "corriente-limitada". Cuando la corriente de salida aumenta, su voltaje de salida desciende hasta que finalmente se reduce a cero, y con esto la corriente de carga alcanza su corriente de cortocircuito.

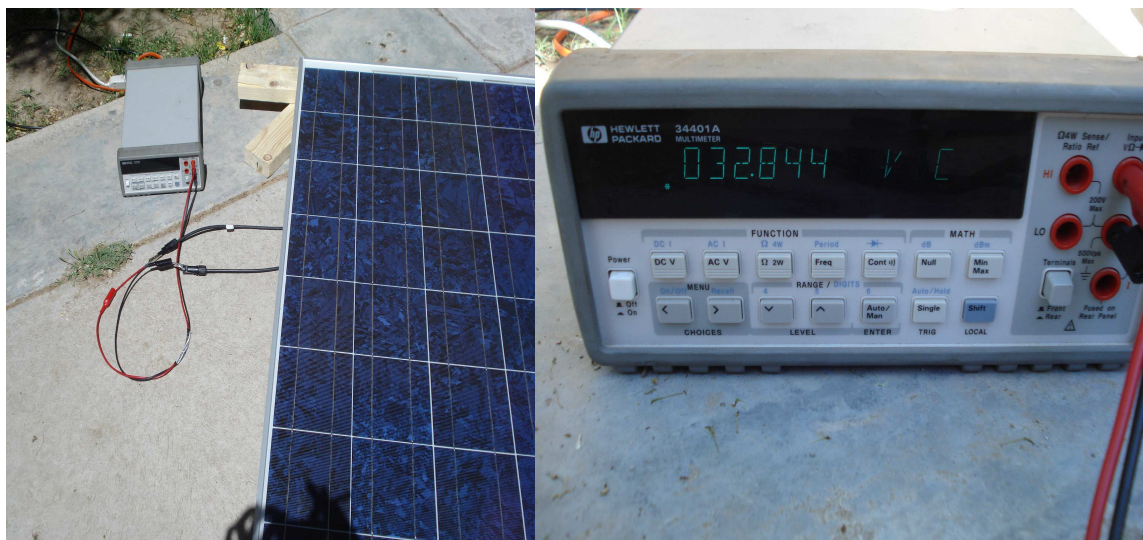


Figura 5.2 Voltaje entregado por el panel solar

5.3 Reconocimiento del punto máximo de potencia (MPP)

En la mayoría de las aplicaciones, es deseable obtener tanta energía como sea posible fuera de la celda solar. Puesto que la potencia de salida es el producto del voltaje de salida y la corriente, es necesario determinar qué parte de la región del funcionamiento de la celda obtiene el valor máximo del producto de la salida del voltaje y la corriente. Esto se conoce como el punto máximo potencia (MPP). En un extremo, el voltaje de salida está en su valor máximo (VOC), pero la corriente de salida es cero. En el otro extremo, la corriente de salida está en su valor máximo (ISC), pero la tensión de salida es cero. En ambos casos, el producto de la tensión de salida y corriente es cero. Por lo tanto, el MPP debe encontrarse en algún lugar entre los dos extremos. Puede ser demostrado que en cualquier aplicación, el MPP en realidad ocurre en algún de los dobles característico de la salida de la celda solar. El problema en la práctica es que la ubicación exacta de MPP de una celda solar varía con la temperatura de la luz y ambiente. Sistemas diseñados para maximizar la generación de energía solar, tienen la función de escalar dinámicamente la corriente procedente de la celda solar para que opere en o cerca del MPP en las condiciones reales de funcionamiento.



Figura 5.3 Aplicación del regulador de voltaje

5.4 Resultados del circuito de control DPPM

DPPM supervisa la caída de tensión (V_{out}) del bus del sistema, debido a la corriente limitada por la fuente de alimentación. El capacitor (CO), que se encuentra conectado a través del bus del sistema donde inicia a descargarse, causando el voltaje de bus del sistema empiece a caer una vez la corriente requerida por el sistema y el cargador de batería sea mayor que la corriente disponible en el panel solar. Una vez que el voltaje de bus de sistema se cae al inicio de pre-set DPPM, el sistema de control de la carga de la batería regula el voltaje de bus del sistema en el inicio de DPPM. Esto se logra mediante la reducción de la corriente de carga de batería, consiguiendo la máxima potencia desde el panel solar. El circuito de control DPPM intenta llegar a una condición de estado estacionario, donde el sistema obtiene su poder necesario, y la batería está cargada con el poder restante. Esto maximiza el uso de la energía disponible en el panel solar y mejora la confiabilidad del sistema.

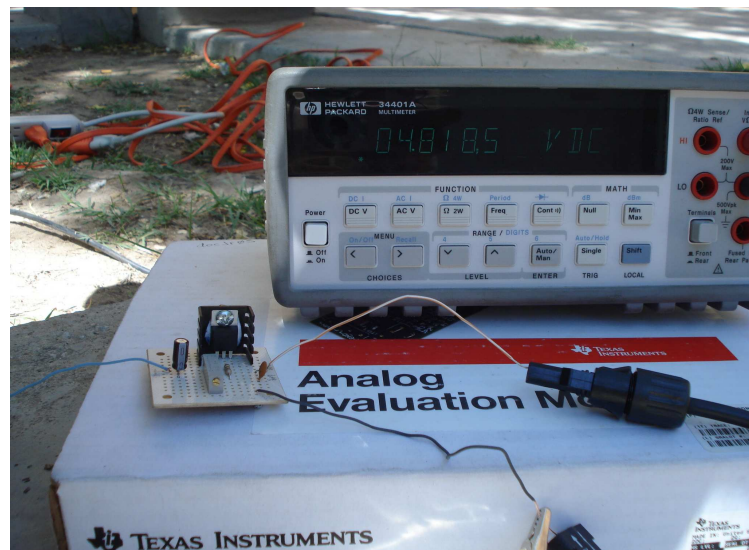


Figura 5.4 Voltaje regulado

El voltaje de salida máxima (VOC) desde este panel solar suele ser entre 32.5V y 33.6V. Por esta razón se ensambla el regulador de voltaje diseñado para ofrecernos un voltaje entre 4.8V y 6.0 V Dado que esto está por debajo de la tensión de la regulación de salida predefinidas de 6V, FET Q1 se encuentra activada. Si el total de corriente requerido por sistema y el cargador de batería superan la capacidad de corriente de salida de la celda solar, que depende de la luz, se caerá el voltaje de salida del panel solar, reduciendo la salida de voltaje (V_{OUT}). Cuando V_{OUT} cae a V_{DPPM} , que es también el voltaje de salida del panel solar, se reduce la corriente de carga. El panel solar ahora funcionará cerca de su MPP, si el V_{DPPM} se establece cerca en el MPP. Esto se consigue mediante la manipulación correctamente de los R_{DPPM} a un nivel que permita a V_{OUT} mantenerse en un mínimo de 4.5V. Este valor de V_{DPPM} es usado porque le corresponde al MPP del panel solar.

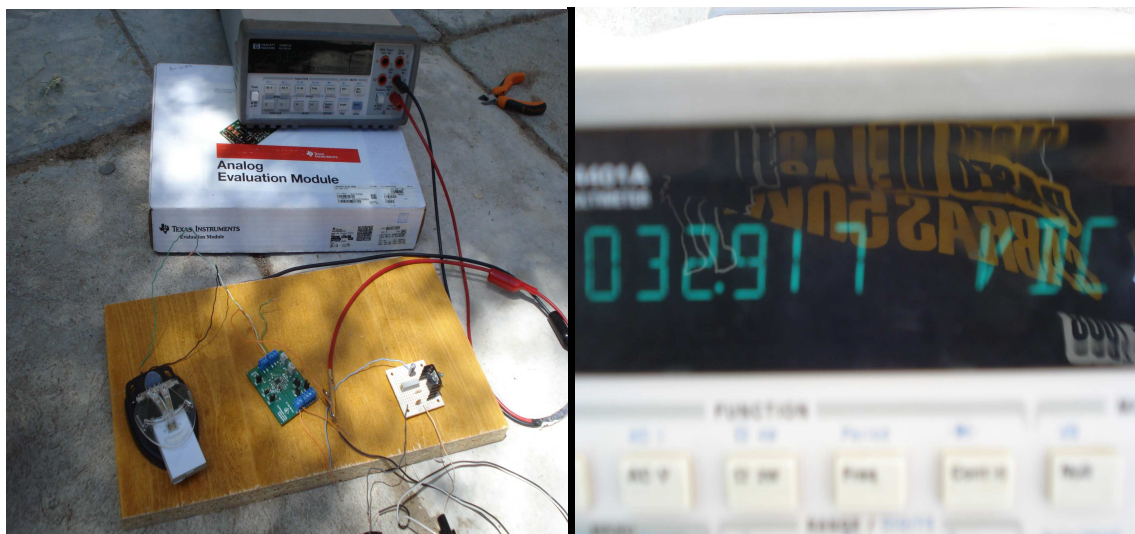


Figura 5.5 Modulación del voltaje del panel solar alimentando el EVM

5.5 Resultado en la búsqueda de la máxima potencia

Suponiendo que una caída de tensión de 300mV a través de FET Q1, el voltaje a través de cada celda será igual a 436mV, lo que maximiza la potencia de salida del panel solar. Si V_{OUT} es mayor de 4.5V, la función DPPM no hace nada y el panel solar se aleja mucho de ser su MPP. Pero esto sólo ocurre si se necesita menos energía por el sistema y el cargador de batería que puede suministrar el panel solar. En cuyo caso, una reducción en la eficiencia no es tan importante. Por lo tanto, es mejor establecer V_{DPPM} ligeramente alta en lugar de ligeramente bajo. Esto minimizará el efecto de un punto de funcionamiento incorrecto en la potencia de salida. Si la potencia disponible en el panel solar es insuficiente para alimentar el sistema, incluso cuando la corriente que carga la batería se ha reducido a cero, se enciende FET Q2, y V_{OUT} cae a justo debajo de la tensión de la batería V_{BAT} , y la batería proporciona cualquier corriente que el panel solar es incapaz de proporcionar.

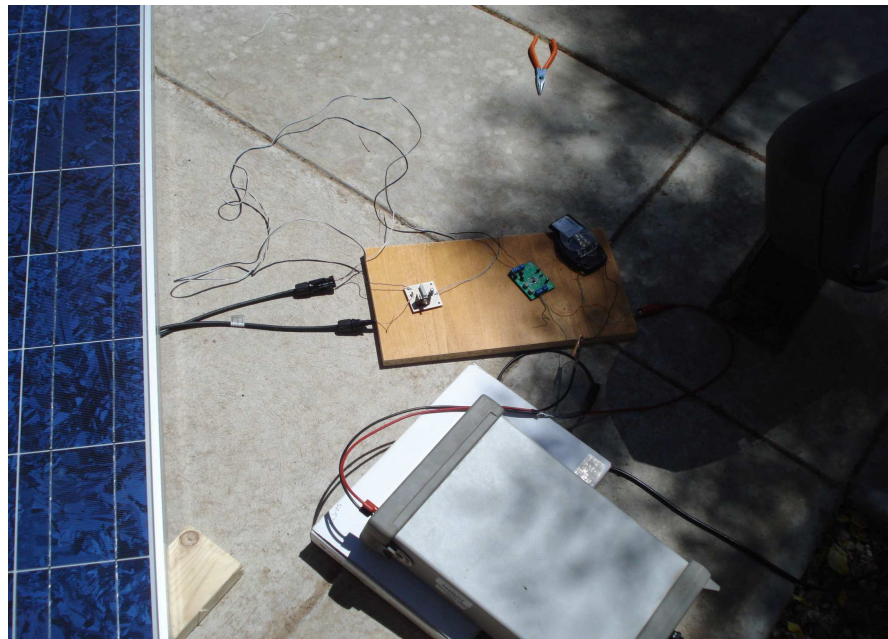


Figura 5.6 Circuito alimentando la batería cerca del MPP



Figura 5.7 Voltaje suministrado en la batería

El temporizador de seguridad interna se extiende automáticamente si el cargador es operado en DPPM. Por lo tanto, cuando se tiene en cuenta condiciones operativas especiales tales como las condiciones de poca luz o sin luz, la carga de la batería es muy lenta, o la batería podría incluso operar en modo de descarga. Es casi imposible establecer el temporizador de seguridad de carga adecuada para cubrir todas las aplicaciones. De lo contrario, se podría generar un error de temporizador de seguridad falsa. Por lo tanto, deshabilitar al temporizador de seguridad es una opción para resolver este problema.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

6.1 Conclusiones

Una vez aplicado el sistema diseñado, con el circuito integrado el cual tiene la función de cargar la batería, se recolectaron los datos, los cuales fueron procesados y se obtuvieron resultados que me permiten presentar el siguiente conjunto de conclusiones.

Concluí favorablemente el proyecto mediante la implementación y comprobación del sistema para obtener la máxima potencia proveniente de las celdas de un panel solar de tipo policristalino. La investigación y análisis de las propiedades en la obtención de energía de un panel solar, además del estudio profundo sobre el circuito integrado cargador lineal me permitieron realizar los diseños y simulaciones del sistema completo. Los resultados logrados con la simulación del sistema completo, adquiriendo energía de una fuente de poder, fueron muy cercanos a los resultados de las pruebas reales en el exterior con el panel solar. En el procedimiento de reducir el voltaje obtenido por el panel solar para aplicar al sistema de cargador lineal, requiero una tensión de 4.8V esta cantidad obtuve mediante las pruebas realizadas, se optó por el desarrollo del circuito con el regulador de voltaje LM317T, que proporciona una fuente de voltaje ideal para ajustar conforme a las necesidades requeridas. En cuanto a la caracterización del EVMbq24071 se realizaron varias pruebas, donde se obtuve diversos resultados, dependiendo de la variación en las resistencias internas, y los óptimos resultados fueron los documentados. Se definieron los valores de las resistencias TP1 en $35.7k\Omega$ y TP2 en $50k\Omega$ con respecto a tierra, con esto el módulo me arrojaría un voltaje de 4.12V en circuito abierto, y con una batería de 3.7 V a 700mAh, conectada a las salidas, el voltaje de salida es de 3.87V a 790mAh. Cargando la batería totalmente en un tiempo de 15 minutos. Al observar esto podemos constatar que la

máxima potencia de un panel solar es manejada y canalizada con el circuito integrado bq24071 el cual se está utilizando, controlando las determinaciones del módulo.

El circuito diseñado con función de voltímetro, está constituido por un microcontrolador y un ADC con comunicación I^2C , este me permitió llevar una referencia más completa sobre la tensión de salida del EVMbq24071 y así tener un control de cual es el voltaje de entrada a la batería de Li-Ion.

En nuestro país la comunidad que está utilizando energía solar para sus requerimientos energéticos ha ido en aumento considerablemente, ya que con el paso del tiempo se a concientizado, y sería poco racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o, simplemente, agotables. Es importante que consideremos el uso de energía alternativa para el desarrollo de sistemas electrónicos ya que de esta forma ayudamos a la preservación de nuestro medio ambiente mediante la utilización de sistemas de generación de energía con mínima contaminación; al mismo tiempo que damos la posibilidad a poblaciones rurales de gozar de este recurso que a pasos agigantados se ha vuelto parte fundamental de nuestra vida diaria.

En el campo de la investigación para obtener energía solar, se ha demostrado ya en infinidad de artículos, análisis y estudios el beneficio y utilidad de implementar circuitos para obtener la energía eléctrica. Sin embargo, es importante acentuar que el diseño de un circuito óptimo para obtener energía solar con las especificaciones adecuadas para cada medio, no es cosa sencilla.

Es de esencial importancia seguir con el desarrollo de la nueva tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva. A demás con el avance de la tecnología se disminuirá el costo

por panel así como su instalación, dando así una mayor accesibilidad para familias de clase media.

6.2 Trabajo a futuro

Para investigaciones posteriores se recomienda la implementación de este sistema, como una idea de concientizar al ahorro de energía, se puede aplicar en el uso de módulos estacionarios de cargadores de baterías; donde el usuario adaptaría su dispositivo de cargado y en determinado tiempo se encontraría listo para su uso, utilizando la energía proporcionada por el panel solar.

Concluyendo el proyecto sería buena idea el acoplar un seguidor de luz al sistema que hice, además de la elaboración de las bases para el panel solar ya diseñadas, con la finalidad de aprovechar al máximo el panel solar.

APÉNDICE A

PROGRAMA INSTALADO EN EL PIC16F84 CON FUNCION DE VOLTIMETRO

;POR: ALEJANDRO SAUCEDO GARCIA 71901

;DESCRIPCION: ESTE PROYECTO FUE REALIZADO PARA CUMPLIR CON LA FUNCION DE VOLTIMETRO Y

;ESTAR MONITOREANDO LA TENSION DE SALIDA DEL MODULO EVMBQ24071 Y ANALIZAR A LA ENTRADA DE

;UNA BATERIA LI-ION,CREADO CON UN DIVISOR DE VOLTAJE CON RESISTENCIAS Y POTENCIOMETROS, PARA
PODER

;TENER AJUSTE.LAS LECTURAS SE REALIZARAN POR EL PIN DEL AINO

; ZONA DE DATOS *****

LIST P=16F84A

INCLUDE <P16F84A.INC>

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _XT_OSC

ERRORLEVEL -302

CBLOCK 0X0C

BIT

ENDC

PCF8591_DIR_ESCRITURA EQU B'10011110'

PCF8591_DIR_LECTURA EQU B'10011111'

;

; ZONA DE CÓDIGOS *****

ORG 0

INICIO

CALL LCD_INICIALIZA

;SUBROUTINA QUE INICIALIZA EL LCD

```

CALL I2C_ENVIART          ; VA A CONFIGURAR EL PCF8591.
MOVLW    PCF8591_DIR_ESCRITURA    ; APUNTA AL DISPOSITIVO.
    CALL I2C_ENVIABYTE
    MOVLW    B'00000000'          ; CARGA LA PALABRA DE CONTROL UTILIZANDO LA
CALL I2C_ENVIABYTE          ; ENTRADA AIN0 EN MODO SIMPLE.
    CALL I2C_ENVIARTOP          ; TERMINA LA CONFIGURACIÓN
;
    CALL I2C_ENVIART          ; COMIENZA A LEER.
    MOVLW    PCF8591_DIR_Lectura    ; APUNTA AL DISPOSITIVO.
    CALL I2C_ENVIABYTE
    CALL I2C_LEEBYTE          ; LA PRIMERA LECTURA ES INCORRECTA Y POR LO TANTO LA DESECHA

    BSF    STATUS,RP0          ;CAMBIA AL BANCO 1
    MOVLW    0X01          ;W=0000 0001
    MOVWF    TRISB          ;LINEA RB0 COMO ENTRADA
    BCF    STATUS,RP0          ;CAMBIO AL BANCO 0

PRINCIPAL
    BTFSSPORTB,0          ;EN QUE POSICION ESTA EL SECTOR?
    CALL POS2          ;SUBROUTINA DE POSICION 2
    MOVLW    .1          ;CARGA CONSTANTE A W
    SUBWF    BIT,W          ;RESTA LO QUE TIENE EL REGISTRO BIT -1
    BTFSS    STATUS,Z          ;ENTRO EN POSICION 2?
    CALL POS1          ;NO ENTRO EN POSICION 2, LLAMA A SUBROUTINA POSICION
    GOTO     PRINCIPAL          ;SI ENTRO A POSICION 2, REGRESA A PRINCIPAL

; SUBROUTINAS "VISUALIZA" -----
;
; VISUALIZA EL VALOR QUE SE LE INTRODUCE POR EL REGISTRO DE TRABAJO W EN FORMATO DE TENSIÓN.
; HAY QUE TENER EN CUENTA QUE EL PCF8591 DEL ESQUEMA TRABAJA CON UNA RESOLUCIÓN DE
; LSB=10MV, EL VALOR DE ENTRADA SERÁ 10 VECES MENOR QUE LA TENSIÓN REAL EXPRESADA EN

```

; MILIVOLTIOS. ASÍ POR EJEMPLO, SI (W)=147 EL VALOR DE LA TENSIÓN SERÁ IGUAL A:

; $VAIN = LSB \times DIGITAL = 10 \times 147 = 1470 \text{ MV} = 1,47 \text{ V}$, QUE ES LO QUE SE DEBE VISUALIZAR

; EN LA PANTALLA.

;

; EN CONCLUSIÓN:

; - LAS CENTENAS DEL VALOR DIGITAL CORRESPONDEN A LAS UNIDADES DE VOLTIO.

; - LAS DECENAS DEL VALOR DIGITAL CORRESPONDEN A LAS DÉCIMAS DE VOLTIO.

; - LAS UNIDADES DEL VALOR DIGITAL CORRESPONDEN A LAS CENTÉSIMAS DE VOLTIOS.

CBLOCK

AUXILIAR

ENDC

VISUALIZA

MOVWF AUXILIAR	; LO GUARDA.
CALL LCD_LINEA1	; SE SITÚA AL PRINCIPIO DE LA PRIMERA LÍNEA.
MOVLW MENSAJETENSION	; VISUALIZA LA TENSIÓN DESEADA.
CALL LCD_MENSAJE	
MOVFAUXILIAR,W	; RECUPERA EL DATO A VISUALIZAR Y LO
CALL BIN_A_BCD	; PASA A BCD.
MOVFB CD_CENTENAS,W	; VISUALIZA LAS CENTENAS QUE CORRESPONDEN A LAS
CALL LCD_NIBBLE	; UNIDADES DE VOLTIOS.
MOVLW '.'	; VISUALIZA EL PUNTO DECIMAL.
CALL LCD_CHARACTER	
MOVFB CD_DECENAS,W	; VISUALIZA LAS DECENAS QUE CORRESPONDEN A LAS
CALL LCD_NIBBLE	; DÉCIMAS DE VOLTIOS.
MOVFB CD_UNIDADES,W	; VISUALIZA LAS UNIDADES QUE CORRESPONDEN A LAS
CALL LCD_NIBBLE	; CENTÉSIMAS DE VOLTIOS.
MOVLW MENSAJEVOLTIOS	
CALL LCD_MENSAJE	
RETURN	

POS1

CALL I2C_LEEBYTE	;LEE LA ENTRADA ANALOGICA
CALL VISUALIZA	;LA VISUALIZA
MOVLW .0	
MOVWF BIT	
RETURN	

POS2

CALL I2C_LEEBYTE	;LEE LA ENTRADA ANALOGICA.
MOVWF AUXILIAR	;LO GUARDA.
CALL LCD_LINEA1	;SE SITUA AL PRINCIPIO DE LA PRIMERA LINEA
MOVLW MENSAJETENSION	;VISULIZA LA TENSION DESEADA.
CALL LCD_MENSAJE	
MOVFAUXILIAR,W	;RECUPERA EL DATO A VISUALIZAR Y
CALL BIN_A_BCD	;PASA A BCD.
MOVF BCD_CENTENAS,W	;VISUALIZA LAS CENTENAS QUE CORRESPONDEN A LAS
CALL LCD_NIBBLE	;UNIDADES DE VOLTIO.
MOVF BCD_DECENAS,W	;VISUALIZA LAS DECENAS QUE CORRESPONDEN A LAS
CALL LCD_NIBBLE	;DECIMAS DE VOLTIO.
MOVLW '.'	;VISUALIZACION DEL PUNTO DECIMAL.
CALL LCD_CARACTER	;
MOVFB CD_UNIDADES,W	;VISUALIZA LAS UNIDADES QUE CORRESPONDEN A LAS
CALL LCD_NIBBLE	;CENTESIMAS DE VOLTIOS.
MOVLW MENSAJEVOLTIOS	;
CALL LCD_MENSAJE	
MOVLW .1	
MOVWF BIT	
RETURN	

MENSAJES

ADDWF PCL,F

MENSAJETENSION

```
DT "TENSION: ", 0X00

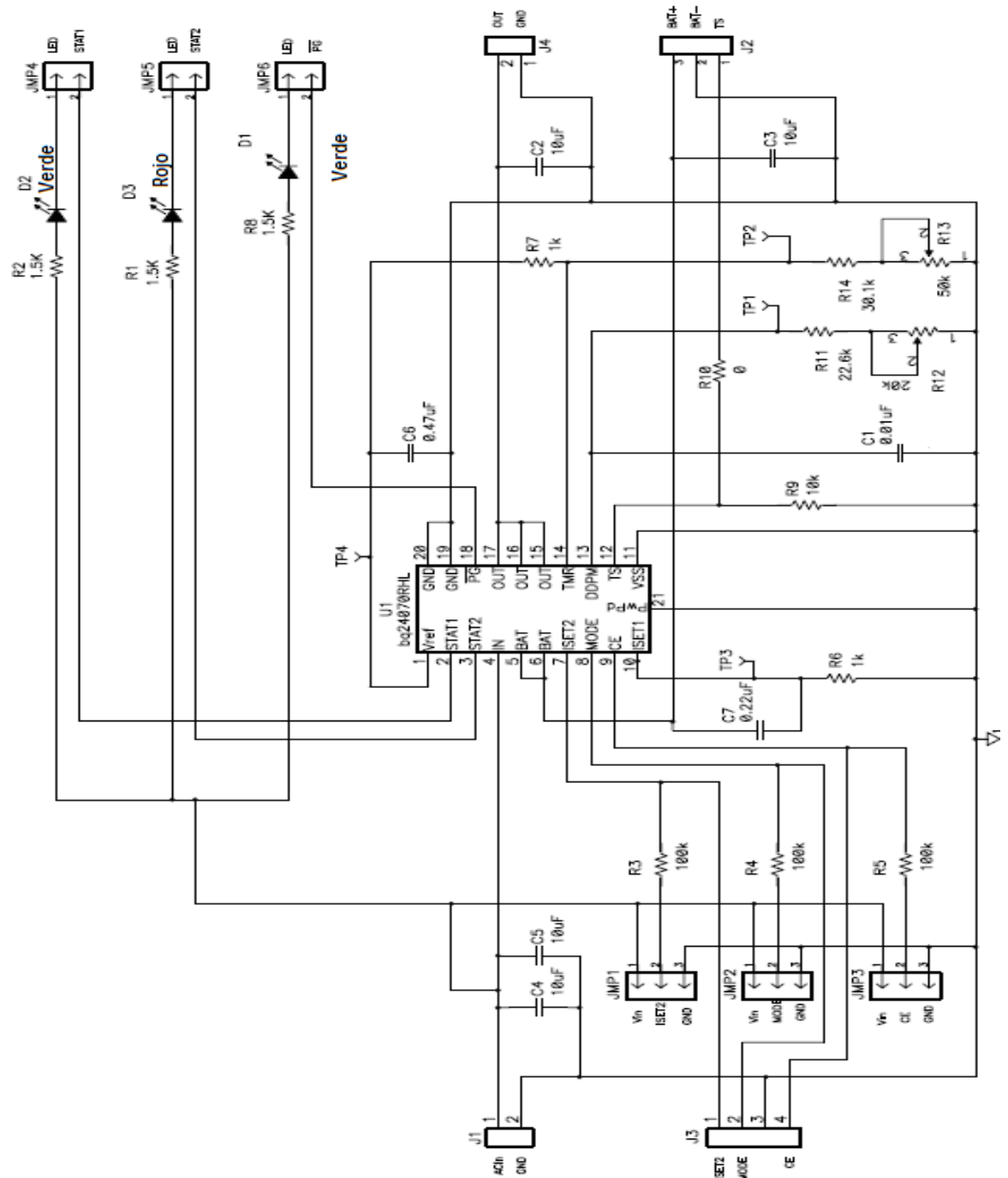
MENSAJEVOLTIOS

DT " V.  ", 0X00

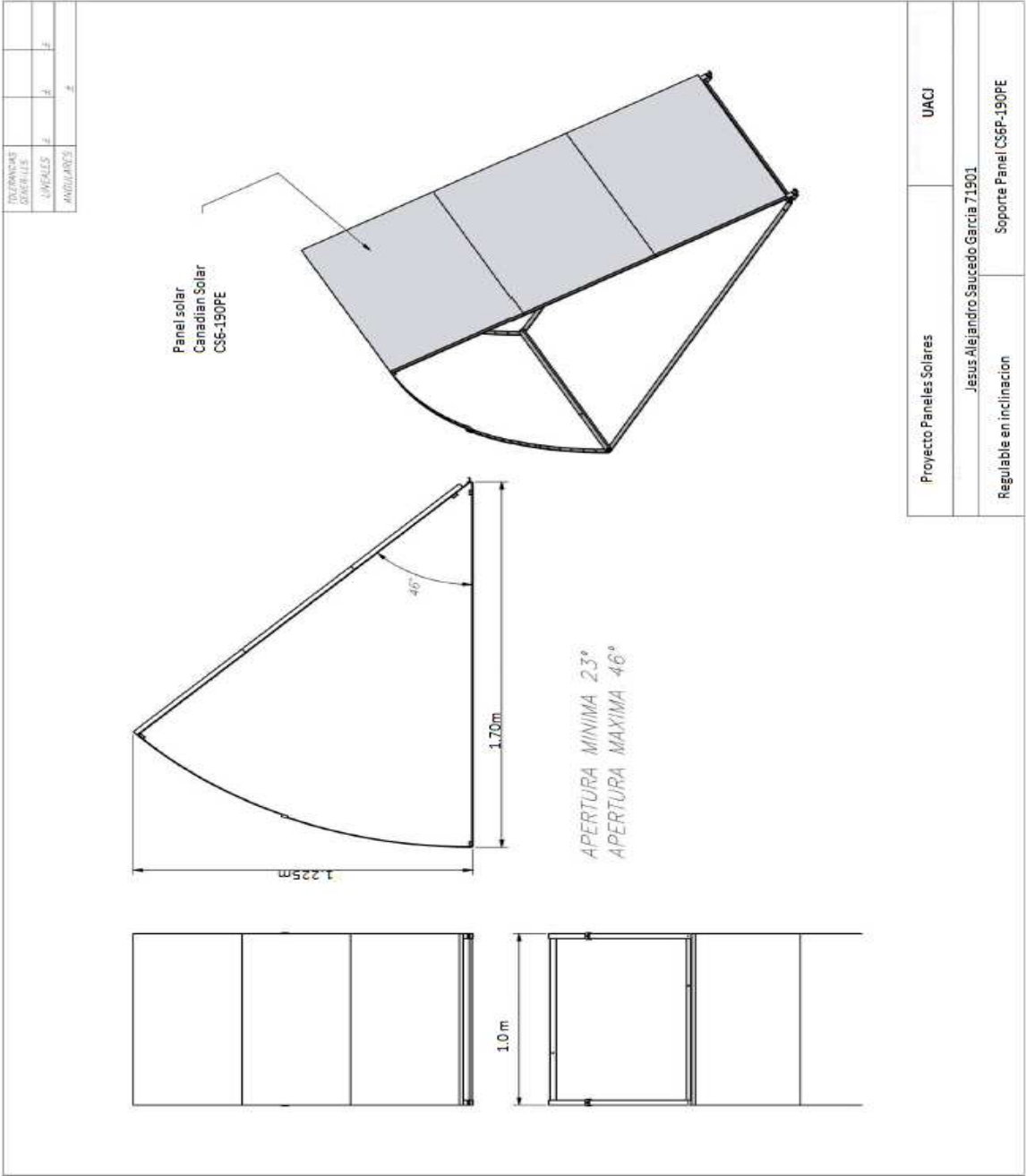

INCLUDE <BUS_I2C.INC>
INCLUDE <RETARDOS.INC>
INCLUDE <BIN_BCD.INC>
INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
INCLUDE <LCD_MENS.INC>

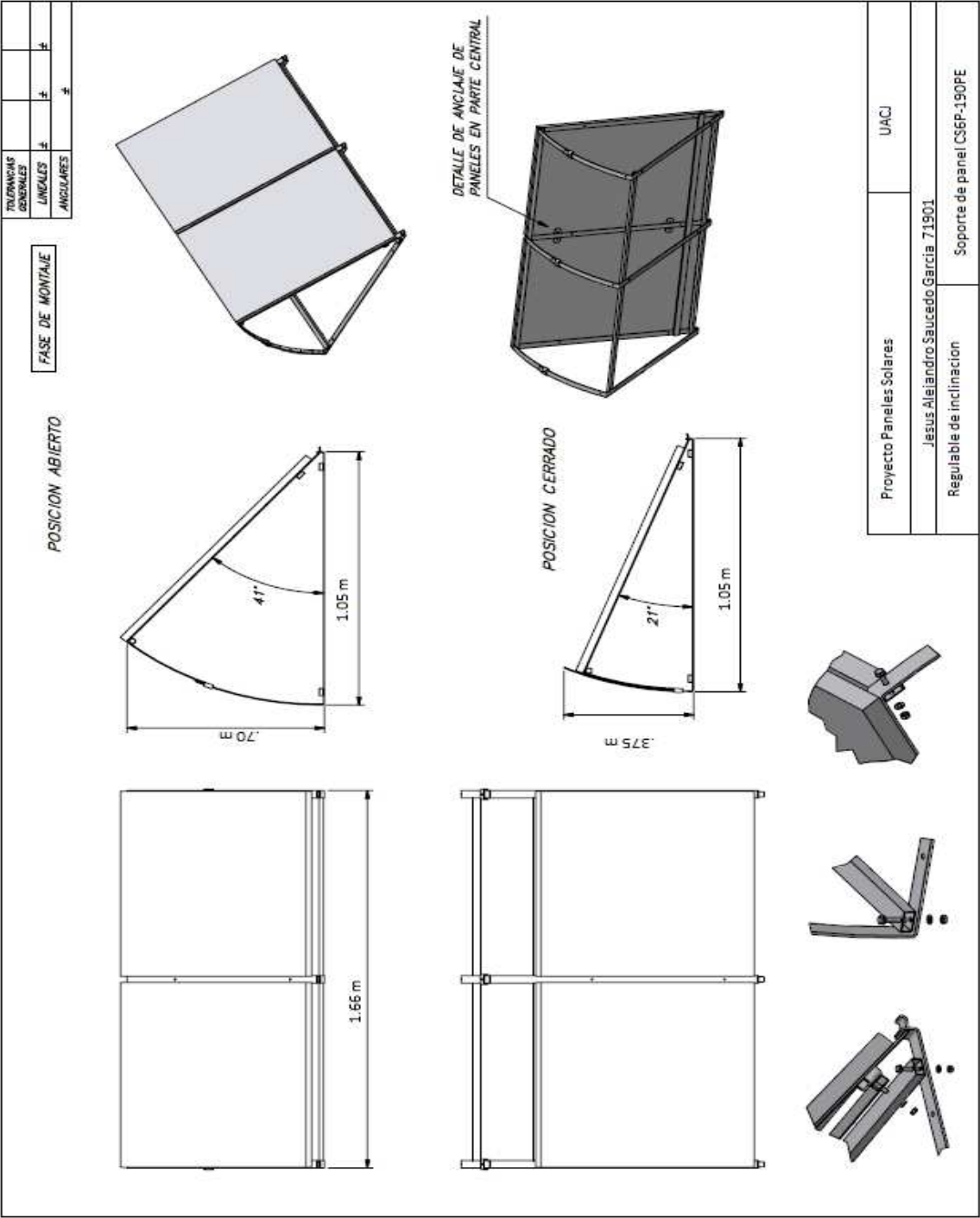
END
```

DIAGRAMA DE EVMBQ24071



PLANOS DE BASE PARA PANEL SOLAR CANADIAN SOLAR CS6-190PE





HOJA DE DATOS DEL PIC16F84A



PIC16F84A

18-pin *Enhanced* FLASH/EEPROM 8-Bit Microcontroller

High Performance RISC CPU Features:

- Only 35 single word instructions to learn
- All instructions single-cycle except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- 1024 words of program memory
- 68 bytes of Data RAM
- 64 bytes of Data EEPROM
- 14-bit wide instruction words
- 8-bit wide data bytes
- 15 Special Function Hardware registers
- Eight-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Four interrupt sources:
 - External RB0/INT pin
 - TMR0 timer overflow
 - PORTB<7:4> interrupt-on-change
 - Data EEPROM write complete

Peripheral Features:

- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
 - 25 mA sink max. per pin
 - 25 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

Special Microcontroller Features:

- 10,000 erase/write cycles *Enhanced* FLASH Program memory typical
- 10,000,000 typical erase/write cycles EEPROM Data memory typical
- EEPROM Data Retention > 40 years
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) - via two pins
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options

Pin Diagrams

PDIP, SOIC



SSOP



CMOS *Enhanced* FLASH/EEPROM Technology:

- Low power, high speed technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range:
 - Commercial: 2.0V to 5.5V
 - Industrial: 2.0V to 5.5V
- Low power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 15 μ A typical @ 2V, 32 kHz
 - < 0.5 μ A typical standby current @ 2V

PIC16F84A

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the operation of the PIC16F84A device. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023), which may be downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

The PIC16F84A belongs to the mid-range family of the PICmicro® microcontroller devices. A block diagram of the device is shown in Figure 1-1.

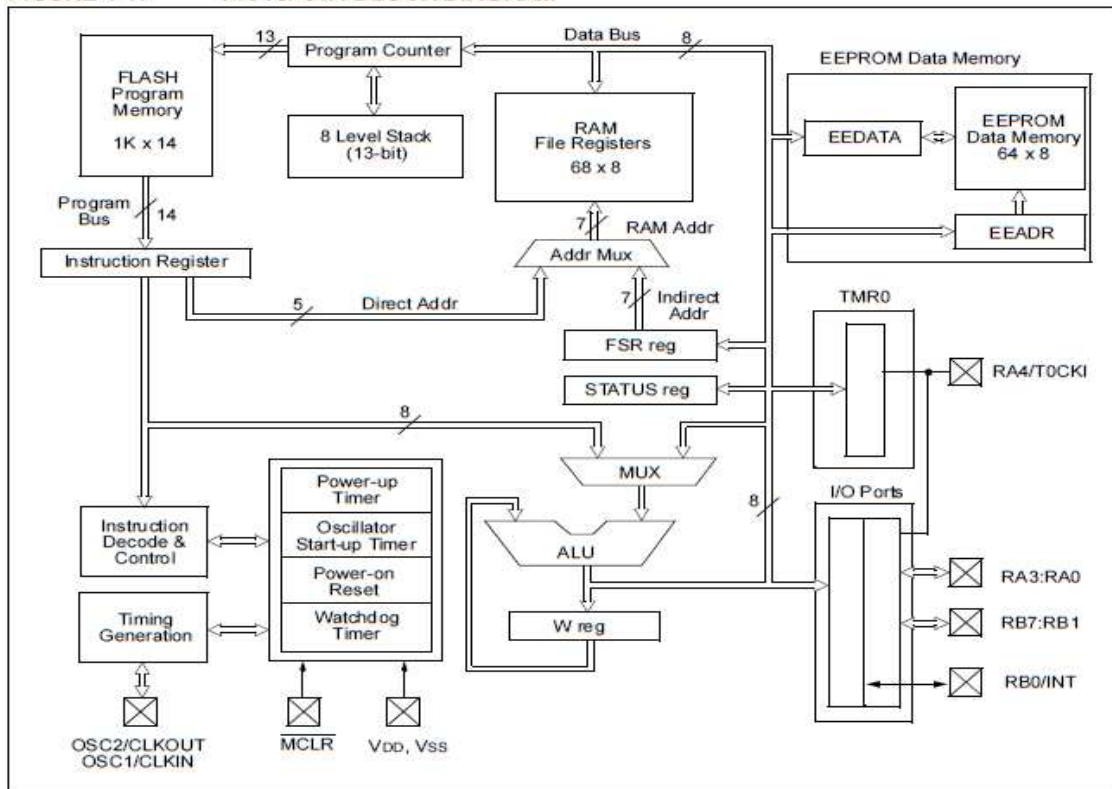
The program memory contains 1K words, which translates to 1024 instructions, since each 14-bit program memory word is the same width as each device instruction. The data memory (RAM) contains 68 bytes. Data EEPROM is 64 bytes.

There are also 13 I/O pins that are user-configured on a pin-to-pin basis. Some pins are multiplexed with other device functions. These functions include:

- External interrupt
- Change on PORTB interrupt
- Timer0 clock input

Table 1-1 details the pinout of the device with descriptions and details for each pin.

FIGURE 1-1: PIC16F84A BLOCK DIAGRAM



PIC16F84A

TABLE 1-1: PIC16F84A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP No.	SOIC No.	SSOP No.	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	16	16	18	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	15	15	19	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR	4	4	4	I/P	ST	Master Clear (Reset) input/programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0	17	17	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. Can also be selected to be the clock input to the TMR0 timer/counter. Output is open drain type.
RA1	18	18	20	I/O	TTL	
RA2	1	1	1	I/O	TTL	
RA3	2	2	2	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	3	3	3	I/O	ST	
RB0/INT	6	6	7	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0/INT can also be selected as an external interrupt pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin. Serial programming data.
RB1	7	7	8	I/O	TTL	
RB2	8	8	9	I/O	TTL	
RB3	9	9	10	I/O	TTL	
RB4	10	10	11	I/O	TTL	
RB5	11	11	12	I/O	TTL	
RB6	12	12	13	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7	13	13	14	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
Vss	5	5	5,6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
Vdd	14	14	15,16	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = Input O = Output I/O = Input/Output P = Power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

REFERENCIAS

- [1] Peter Gevorkian. "Solar power in building design: the engineer's complete design resource" Ed. McGraw-Hill Professional. 2007.
- [2] Roger L. Tokheim. "Electrónica Digital" Ed. Universidad de Salamanca.2006.
- [3] Aden B. Meinel, Marjorie Pettit Meinel."Aplicaciones de la energía solar" Ed. Reverte.1982
- [4] Tea Benduhn. "Energy for Today/ Energía para el presente" Ed. Gareth Stevens .2008.
- [5] Mukund R. Patel. " Wind and solar power system : design , analysis , and operation" Ed. Boca Raton, 2006.
- [6]Theodore L. Brown , Bruce E. Bursten, Julia R. Burdge."Química: la ciencia central" Ed. Pearson. 2004.
- [7]Plana M., Joan Ramon Rosell."Tecnología solar, energías renovables" Ed. Mundi-Prensa Libros.2005.
- [8] R.Dorf. "Circuitos Eléctricos "Ed. Marcombo.2000.
- [9] M.Morrison Mano. "Diseño Digital "Ed. Pearson Educación. 2005.
- [10] Enrique Palacio, Fernando Remiro, Lucas J. López. "Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos" Ed.Alfaomega.2004.
- [11]Texas Instruments. "Battery Management" <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/bq24071.html> Octubre 2009.

[12] Datasheet. "BQ24071 -single-chip Li-ion charge and system power-path management IC". <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/162821/TI/BQ24071.html> octubre 2009.

[13] Ariel Palazzesi "Reguladores de voltaje", <http://www.electrotekmtty.com.mx>, al 23 de marzo del 2010

[14]Angulo Usategui, José Ma., Angulo Martínez. "Microcontroladores PIC: diseño practico de aplicaciones" Ed. McGraw Hill, 3era edición, Madrid 2003.

[15]Acha Alegre, Santiago, García Sevilla."Electrónica digital: Lógica digital integrada: teoría problemas y simulación" Ed. Ra-Ma ,1ra edición, 2006.

[16] Valdés Pérez, Fernando E., Pallás Areny, Ramón. "Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC" Ed. Alfaomega, 2007.

[17] Floyd, Thomas L., Vuelapluma . "Fundamentos de Sistemas Digitales" Ed. Prentice-Hall, 2006.

[18] Fred W. Kear "Printed circuit assembly manufacturing" Ed. M. Dekker, c1987.