

41126
68

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN**

**"APLICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR
PIC16C711 EN UN CONTROLADOR
FOTOVOLTAICO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO . ELÉCTRICO
ÁREA ELÉCTRICA ELECTRONICA
P R E S E N T A:
HÉCTOR MARTÍNEZ RIVERA

ASESOR.
ING. ELEAZAR M. PINEDA DIAZ

MEXICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA NACIONAL
DE ESTUDIOS
PROFESIONALES
ARAGÓN

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN – UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

OFICIO: ENAR/JAME/0864/2002

ASUNTO: Sínodo

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
SECRETARIO ACADÉMICO
P R E S E N T E

Por este conducto me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el Sínodo del Examen Profesional del alumno **HÉCTOR MARTÍNEZ RIVERA**, con Número de Cuenta: 9038001-5, con el tema de tesis: "APLICACION DEL MICROCONTROLADOR PIC16C711 EN UN CONTROLADOR FOTOVOLTAICO".

PRESIDENTE:	ING. RAÚL BARRÓN VERA	OCTUBRE	78
VOCAL:	ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ	OCTUBRE	80
SECRETARIO:	ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO	MAYO	90
SUPLENTE:	ING. MARTÍN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ	OCTUBRE	90
SUPLENTE:	ING. JOSÉ LUIS GARCÍA ESPINOSA	AGOSTO	98

Quiero subrayar que el Director de Tesis es el Ing. Eleazar Margarito Pineda Díaz, el cual esta incluido basándose en lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Bosques de Aragón, Estado de México, 12 de octubre de 2002.
EL JEFE DE CARRERA

ING. RAÚL BARRÓN VERA



Recibi 2 copias

15/oct/2002

Héctor Martínez Rivera

C.c.p.- Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez.- Jefa del Depto. de Servicios Escolares.
C.c.p.- Ing. Eleazar Margarito Pineda Díaz.- Asesor de Tesis.
C.c.p.- Alumno.
RB Vance.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B

TEMARIO

TITULO	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1.- Descripción de un sistema fotovoltaico	4
1.1 Descripción general del controlador de cargas	7
1.2 Instalación y funcionamiento de un sistema fotovoltaico	9
1.2.1 Funcionamiento de un sistema fotovoltaico	10
1.2.2 Condiciones de operación de un sistema fotovoltaico	10
1.2.3 Instalación de un sistema fotovoltaico	11
1.3 Banco de baterías de plomo ácido	14
1.3.1 Características de la descarga	15
1.3.1 Características de la carga	16
Capítulo 2.- Arquitectura del microcontrolador PIC16C711	18
2.1 ¿Qué es un microcontrolador?	19
2.2 Diferencia entre microprocesador y microcontrolador	20
2.3 Arquitectura interna del microcontrolador PIC16C711	21
2.3.1 El procesador	22
2.3.2 Memoria del programa	23
2.3.2.1 ROM con máscara	23
2.3.2.2 Memoria EPROM	24
2.3.2.3 Memoria OTP (programable una vez)	24
2.3.2.4 Memoria EEPROM	24
2.3.2.5 Memoria FLASH	25
2.3.2.6 Memoria de datos	25
2.3.3 Líneas de E/S para los controladores de periféricos	26
2.3.4 Recursos auxiliares	26
2.3.4.1 Circuito de reloj	27
2.3.4.2 Módulo temporizador (TIMER0)	28
2.3.4.3 Módulo WatchDog Timer (WDT)	29
2.3.4.4 Módulo convertidor A/D	29
2.4 Características físicas y eléctricas del microcontrolador PIC16C711	30
2.5 Programación de microcontroladores PIC	32
Capítulo 3.- Instrucciones del microcontrolador PIC16C711	33
3.1 Formato de las instrucciones	34
3.1.1 Definición de los registros de campo	35
3.1.2 Juego de instrucciones del microcontrolador PIC16C711	36
3.1.3 Descripción de las instrucciones	37
3.1.4 Descripción de la estructura de las instrucciones	55

C

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TITULO	Pág.
Capítulo 4.- Diseño de los módulos E / S para el controlador	56
4.1 Características eléctricas	57
4.2 Diseño de la etapa sensora / transductora	58
4.2.1 Ecuaciones del diseño	59
4.3 Diseño de la etapa reguladora de voltaje	65
4.4 Diseño de la etapa lógica/comparadora	70
4.4.1 Circuito de restablecimiento externo en la alimentación	70
4.4.2 Circuito oscilador externo	72
4.5 Diseño de la etapa actuadora	75
4.5.1 Sistema actuador de disparo	75
4.6 Diseño de la etapa de protección del controlador	82
4.7 Diagrama eléctrico	83
Capítulo 5.- Características del software del controlador fotovoltaico	84
5.1 Uso del punto y coma	85
5.2 Instrucciones para definición interna	85
5.3 Instrucciones para la memoria	87
5.4 Instrucciones para las constantes del programa	87
5.5 Instrucciones para las constantes de la carga	88
5.6 Subrutina principal	90
5.7 Subrutina de filtro	90
5.8 Subrutina de lectura	91
5.9 Subrutina de procesamiento	92
5.10 Subrutina para las baterías	94
5.11 Subrutina para los días	95
5.12 Subrutina de retardo	96
5.13 Características y lógica del software	96
5.14 Formato del programa	97

Conclusiones

Bibliografía

D

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

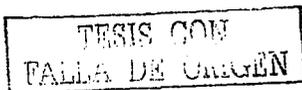
El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un aparato conocido como **controlador automático de cargas** o **controlador fotovoltaico**, que además consume como circuito la más mínima cantidad posible de corriente, se pretende además obtener un circuito de bajo costo y de tamaño reducido gracias a la utilización de un microcontrolador PIC16C711/04P.

En el primer capítulo se cita lo que es un sistema fotovoltaico pues es necesario conocer el medio a controlar antes de iniciar cualquier tipo de control automático, de tal forma que en este capítulo se mencionan las características que tiene un sistema fotovoltaico, las partes que lo integran y la forma en que debe operar cada una de esas partes. La parte medular del sistema fotovoltaico es la batería ya que es la que funciona como acumulador y como fuente de energía, sin embargo el panel solar (que forma parte de sistema) también cumple un papel importante al ser el que recarga a la batería.

Debido a que la batería esta en constante uso, pues el sistema fotovoltaico por lo general siempre tendrá cargas conectadas, la batería debe ser recargada también de forma constante pero solo hasta que se llegue a los valores bajos de descarga, por lo cual se requiere de un medio que nos permita conectar el panel solar a la batería sólo cuando sea estrictamente necesario, de igual forma si la batería esta en niveles muy críticos de descarga las cargas deben ser desconectadas. El hecho de manejar valores bajos y valores críticos de descarga radica a que estando la batería en niveles bajos no es necesario desconectar las cargas y en el otro caso sí será necesario, por lo cual se requiere de un dispositivo que se encargue de vigilar el estado de la batería, este dispositivo se conoce como "controlador automático de cargas" o "controlador fotovoltaico".

Se hace mención de las condiciones en que debe operar un sistema fotovoltaico y las condiciones bajo las cuales opera el sistema fotovoltaico, ya que de aquí se desprenderán las características que debe cumplir el controlador de cargas para un funcionamiento óptimo del sistema, una característica fundamental por ejemplo, es la cantidad de potencia que entregará el sistema, dicha potencia se traduce en amperes que será capaz de entregar el controlador a las cargas, así como la forma en que se llevará a cabo la recarga de las baterías para hacer que la vida útil de las mismas no se vea afectada por una recarga inadecuada.

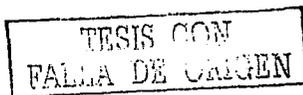
En el capítulo 2 se describe el microcontrolador que será utilizado como dispositivo central del controlador de cargas que se plantea diseñar y aplicar en este trabajo, básicamente se mencionan sus características físicas y eléctricas, así como la lógica que utiliza dicho dispositivo para su programación. El microcontrolador utilizado es el PIC16C711/04P que tiene la peculiaridad de ser muy sencillo de programar y de manejar.



En este capítulo se hace referencia a conceptos básicos de electrónica digital, pues el microcontrolador demanda de conocimientos tanto en electrónica digital como de electrónica analógica, así como de saber interpretar bastante bien los manuales del fabricante. Se hace referencia de cada una de las partes que integran al microcontrolador, no sin antes explicar la diferencia entre microcontrolador y microprocesador, se detallan las funciones de cada parte del microcontrolador y se definen las diferentes clases de memoria que utiliza el microcontrolador recurriendo incluso, a tipos de memoria con las cuales no cuenta pero que sirven como referencia para no confundirlas, pues en el desarrollo del software de control que se graba en el microcontrolador es necesario saber distinguir entre un tipo de memoria ROM y EPROM, de lo contrario no se podría ni siquiera entender el manual del microcontrolador y podrían surgir confusiones.

Una vez establecidas las características físicas del microcontrolador PIC16C711/04P, se procede en el capítulo 3 a describir cada una de las instrucciones que utiliza el microcontrolador para el desarrollo del software que controlará al sistema fotovoltaico, pues al igual que una computadora el microcontrolador no sirve para nada sin el software y viceversa. No todas las instrucciones son utilizadas en el desarrollo de este trabajo, pero se citan todas las instrucciones debido a que por ser un código muy cercano al lenguaje ensamblador tiene la versatilidad de obtener un mismo resultado con diferentes instrucciones, de tal forma que con diferentes tipos de software de control se puede llegar al mismo resultado y dependerá de la habilidad del programador el economizar en la memoria utilizada del mismo microcontrolador e incluso ahorrarse componentes electrónicos periféricos sustuyéndolos con secuencias de programación.

Hasta este punto se tienen las herramientas principales en el desarrollo del controlador de cargas y los componentes adicionales que se requieren para la elaboración del circuito completo se detallan en el capítulo 4. En forma global, las etapas que integran al controlador fotovoltaico representan a lo que se conoce en un sistema de control y automatización como: etapa de control, etapa sensora y etapa actuadora, y se agrega otra etapa que no siempre es considerada en la mayoría de diseños electrónicos, incluso de tipo profesional, dicha etapa se denota en este capítulo como de gran importancia y es la etapa de protección sin la cual nuestro diseño no trabajaría adecuadamente por cuestiones de ruido o se dañaría con alguna descarga eléctrica. Cada una de las etapas se describen y obtienen por cálculos bien precisos (pues el diseño en este caso lo requiere) pero sencillos, además se hace uso de diagramas proporcionados por los fabricantes de los componentes utilizados en la elaboración y desarrollo del controlador fotovoltaico, al final del capítulo se muestra el diagrama eléctrico completo y con los módulos que integran al controlador, dicho diagrama tiene identificados los módulos que lo componen.



Finalmente, el capítulo 5 se refiere al software de control, se describe cada una de las partes que componen al software, el cual por cuestiones prácticas se halla clasificado por secciones no sólo para hacerlo entendible a cualquier persona que al leerlo pueda entenderlo sino también para que la persona que lo programó pueda depurarlo de forma más rápida y sencilla, así como realizar modificaciones a futuro y poder ubicar de forma inmediata los puntos de interés del programador. Se dejó al final del trabajo debido a que no se puede desarrollar un software de control si antes no se tiene bien definido los componentes de los cuales se recibirá información o bien con los cuales se comunicará el microcontrolador a través de sus terminales o puertos, pues el fin del software es precisamente el de establecer comunicación con el sistema y la configuración del microcontrolador.

El concepto general del trabajo presentado radica en el hecho de dar una de tantas soluciones que se pueden ofrecer con la ayuda de un microcontrolador, ya que por ser un dispositivo programable y de alta integración, nos permite realizar diferentes tareas con un solo chip, de tal forma que las aplicaciones que se hagan con un componente de éstos son ilimitadas y el único límite existente será la imaginación del diseñador o bien la falta de conocimientos para hacer que el microcontrolador actúe con otros circuitos electrónicos periféricos. Se eligió automatizar un sistema fotovoltaico debido a que es un sistema de fácil control y sobre todo es bastante representativo pues nos permite visualizar la forma en que se puede llevar el control de un simple cargador de baterías (que es lo viene siendo en sí un controlador de cargas) a un sistema de mayor utilidad al cual se le puede dar una aplicación que ofrezca mejores ventajas y una aplicación diferente. Un sistema fotovoltaico está pensado para llevar energía eléctrica a zonas en donde no es posible llevar energía eléctrica convencional, este tipo de soluciones facilitan que la energía pueda ser enviada, distribuida y correctamente administrada por un simple **cargador de baterías** claro en conjunto con un panel y una batería.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I.- DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

El sol, fuente de vida, es también una fuente de energía gratuita, limpia y prácticamente inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras o, simplemente, contaminantes. Es por ello la necesidad de crear técnicas, que hagan posible el aprovechamiento al máximo de la energía solar.

Aplicaciones y uso de la energía solar. La energía solar puede ser utilizada para la producción de trabajo mecánico, calentamiento de agua para consumo domestico, procesos de secado, destilación de agua, calefacción y enfriamiento de ambientes, bombeo de agua, generación de electricidad, etc.

¿Que es un sistema fotovoltaico? Un sistema fotovoltaico es un conjunto de elementos diseñados para la captación y el aprovechamiento de la energía solar. Su función es convertir la energía solar en energía eléctrica, además de almacenar esta energía y mantenerla dispuesta para cuando esta sea requerida; incluso en periodos en los que no haya radiación solar.

Algunas de las ventajas más importantes de un sistema fotovoltaico son las que se listan a continuación:

- Los sistemas fotovoltaicos son rentables para la electrificación de zonas rurales remotas, donde el costo de la infraestructura necesaria para llevar energía eléctrica convencional es muy alto.
- Requieren mínimo mantenimiento.- este se limita a revisar el nivel de electrolito de la batería y mantener limpia la superficie del panel solar.
- No requieren combustible para su funcionamiento, no provocan interferencia en las señales, son totalmente autónomos.
- Además son ecológicos, ya que no contaminan, son silenciosos, por lo que son compatibles con el medio ambiente.

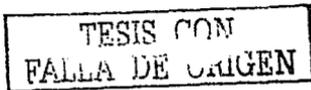
En cuanto a sus aplicaciones, los sistemas fotovoltaicos tienen utilidad en regiones en donde no existen los sistemas de electrificación convencional. A continuación se listan los lugares con mayor demanda en el uso de sistemas fotovoltaicos y sus perspectivas a futuro:

1. En la actualidad existen en la republica mexicana, centro y Sudamérica mas de 50,000 sistemas fotovoltaicos instalados, principalmente en las zonas rurales para beneficio de las clases marginadas.
2. En general los sistemas fotovoltaicos son una excelente solución donde exista la necesidad del uso de energía aun combinándolos con la energía convencional como alternativa para el ahorro de energía.
3. Los elevados costos de la explotación de energéticos petrolíferos y su inevitable desaparición, han impulsado a los diferentes gobiernos a destinar mas recursos para la investigación y desarrollo de tecnologías renovables. Lo cual augura un crecimiento en el numero de instalaciones de sistemas fotovoltaicos en un futuro no muy lejano.

Sin embargo el aprovechamiento de la energía solar presenta algunos problemas, ya que es una energía difusa que generalmente hay que concentrar (se necesitan grandes superficies de colectores para acumular cantidades útiles de energía) y que se recibe de forma irregular (la intensidad del sol varía a lo largo del día; por la noche no brilla), lo que exige resolver el problema de su almacenamiento o disponer de otra energía tradicional de reserva. Para el caso que analizaremos, será necesario utilizar un medio que sirva de acumulador para almacenar la energía captada a lo largo del día, para lo cual se utilizan paquetes de baterías, las cuales nos almacenarán la energía necesaria durante la noche y además permiten mantener una cantidad estable de energía eléctrica entregada a las cargas que se conecten al sistema.

Un sistema de energía solar se compone de 4 partes esenciales: panel de celdas solares, caja de fusibles, controlador de cargas y baterías los 2 primeros se describen a continuación y los 2 restantes se describen en temas separados

Panel de celdas solares o panel solar.- Las células solares se fabrican con obleas finas de silicio, arseniuro de galio u otro material semiconductor en estado cristalino, se encargan de convertir la radiación solar en electricidad de forma directa. Ahora se dispone de células con eficiencias de conversión superiores al 30%. Por medio de la conexión de muchas de estas células en módulos, el costo de la electricidad fotovoltaica se ha reducido mucho.



El uso actual de las células solares se limita a dispositivos de baja potencia, remotos y sin mantenimiento, como boyas y equipamiento de naves espaciales. Los módulos solares son el núcleo de un sistema de energía solar: transforman directamente la energía de la luz del sol en corriente eléctrica continua. Cuanta más luz haya, mas energía eléctrica son capaces de producir. Son altamente confiables y razonablemente eficientes.

Caja de fusibles. - La caja de fusibles es la parte que tiene la función protectora del sistema contra sobre cargas, ésta se coloca entre los equipos a alimentar con C.D. y el Controlador de Cargas, se compone esencialmente de fusibles que van en serie con los equipos a alimentar. Es un dispositivo eléctrico que le brinda protección al sistema fotovoltaico contra cortos circuitos; y a cada uno de los equipos conectados a el contra excesos de corriente que pudieran dañarlas.

Cuenta con fusibles tipo automotriz e indicadores luminosos que encienden en el momento en que un fusible se funde debido a una sobre carga. Refiérase a la figura 1.1

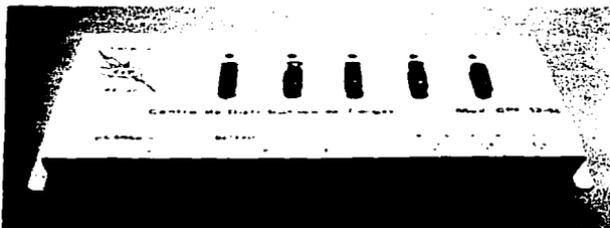


Figura 1.1 Caja de fusibles utilizada como equipo de protección en un sistema fotovoltaico

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CONTROLADOR DE CARGAS

El controlador solar está construido utilizando como dispositivo principal un microcontrolador de la marca MICROCHIP modelo PIC16C711-04P, el cual es de tipo OTP (One Time Programing), tiene la posibilidad de ser programado una sola vez, por lo cual todos los cambios que se requieran en el programa, se deberán realizar antes de ser grabada la memoria interna del microcontrolador (memoria EPROM). El microcontrolador manejará 2 de sus cuatro canales analógicos para monitorear de manera permanente los valores de voltaje de la batería y del panel solar (que a partir de este momento conoceremos como **Módulo Fotovoltaico**), con el único objeto de conectar y desconectar el módulo a la batería, o la batería a la carga, de acuerdo a los siguientes puntos de comparación en función del tipo de controlador usado, ya que el programa integrado al microcontrolador maneja dos tipos de ajuste, para lo cual se usará un interruptor al que denominaremos TR1, de esta forma tendremos en un mismo programa dos configuraciones de operación del **Controlador de Cargas**, una de estas configuraciones de operación se denominará **Controlador Estándar** y la otra **Controlador Modificado**.

A continuación se describen los valores de voltaje que controlaran cada una de estas configuraciones:

Controlador Estándar:

Reconexión de Módulo a Batería:	12.6 V C.D.
Desconexión de Módulo a Batería	14.4 V C.D.
Reconexión de Batería a Carga	13.2 V C.D.
Desconexión de Batería a carga	11.4 V C.D.

Controlador Modificado:

Reconexión de Módulo a Batería:	12.6 V C.D.
Desconexión de Módulo a Batería	14.7 V C.D.
Reconexión de Batería a Carga	11.8 V C.D.
Desconexión de Batería a carga	13.3 V C.D.

Para cumplir con los estándares que requieren las licitaciones públicas en lo referente a controladores, se establecen algunos parámetros como son el auto consumo del sistema electrónico (léase Controlador de Cargas), y con el objeto de reducir el consumo, se utilizan como manejadores (drivers) de módulo y batería, componentes electrónicos de estado sólido, ya que evitan el consumo eléctrico de las bobinas que integran a un relevador tradicional, por tal motivo en este sistema se utilizan transistores de potencia MOSFET de encapsulado TO-220.

Otra característica que debe cumplir el **Controlador de Cargas** de acuerdo a C.F.E. es el del despliegue de la medición del voltaje medido en los bornes de la batería a solicitud del usuario, en este caso para observar el voltaje de la batería, será necesario oprimir un botón para activar el sistema de medición.

El Controlador de Cargas en la etapa del módulo contempla también una protección de sobre voltaje, el cual opera al llegar a los 33 volts, y también forma parte de las normas solicitadas por parte de C.F.E.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2 INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para una colocación segura de los módulos solares en techos, postes, tejados, etc., se emplean soportes de estructura metálica ligera y rígida (el material recomendado para la elaboración de los soportes es el aluminio, por ser además de ligero, económico) que soporten vientos de hasta 100 Km. / h. Estos soportes, además de posicionar de manera estable el módulo también deben asegurar la ventilación adecuada del módulo para disipar el calor que normalmente se produce bajo la acción de los rayos solares; esto es importante pues las celdas disminuyen su eficiencia al elevarse la temperatura.

El cableado utilizado para realizar las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos debe ser capaz de soportar condiciones climáticas extremas con lo cual se asegura el rendimiento óptimo del sistema. Las características principales de estos cables son: que de preferencia sean con centro multi hilos para que la instalación del cableado sea flexible y permita los dobleces necesarios en la instalación. En la figura 1.2 se muestra el diagrama de conexionado de un panel fotovoltaico.

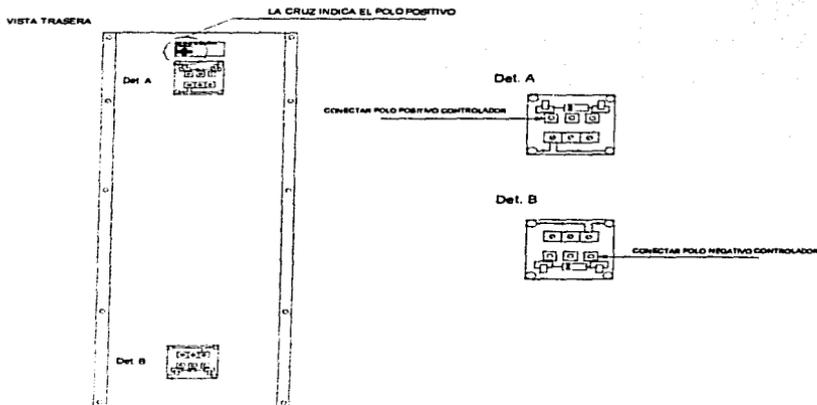


Figura 1.2 Se muestra la forma en que deben hacerse las conexiones de panel a controlador

1.2.1 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los sistemas fotovoltaicos operan en forma cíclica, continua y automática. La planta eléctrica solar inicia su ciclo de carga aprovechando la luz del sol que incide sobre los módulos durante el día para producir corriente directa que se almacena en las baterías.

La energía almacenada puede ser utilizada en cualquier momento por un radio, grabadora, T.V. blanco y negro y otros aparatos domésticos menores que puedan hasta con 12 Vcd, dicha alimentación de estos aparatos es proporcionada por medio de un adaptador de voltaje DC-DC.

Otra opción es utilizar un inversor de corriente directa a corriente alterna, y así poder utilizar aparatos domésticos que operan a 127 V~ tales como: licuadora, lavadora, equipo de sonido, vídeo casetera, televisor de color, antena parabólica, lámparas, etc.

La electricidad que el módulo envía a la batería y la que ésta proporciona a los equipos conectados al sistema se hace pasar por el controlador automático de cargas, cuya función es mantener en estado óptimo la carga de la batería, protegerla de descargas profundas y sobrecargas, con el fin de tener un mayor aprovechamiento de la vida útil de la batería y del sistema en general.

1.2.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

En operaciones normales los sistemas estarán expuestos, por un lado a la acción del medio ambiente físico local, y por el otro, estarán inmersos en un ambiente socio cultural pobre, en donde la mayoría de las veces los usuarios no están acostumbrados a manejar equipos de alta tecnología. Además los sistemas estarán operando en regiones donde el acceso a partes de repuesto y servicios de mantenimiento es muy limitado, o prácticamente nulo. En consecuencia, el sistema debe ser altamente confiable, tanto a lo que se refiere a la operación de cada uno de sus elementos, como en lo relativo al cumplimiento de su función como sistema para proporcionar energía eléctrica al usuario.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.- La demanda de energía determina la capacidad del sistema, por ello, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico debe hacerse tomando en cuenta los siguientes factores:

- a. Total de cargas que estará alimentando el sistema, así como el consumo en watts / hora de cada una de ellas.
- b. Tiempo promedio por día que se requiere estar activo cada uno de los equipos conectados.
- c. Llevar a cabo un estudio estadístico de la climatología del sitio, para evitar que la generación de energía solar sea insuficiente para los módulos.
- d. El sistema debe ser capaz de alimentar a los equipos por periodos hasta de cuatro días consecutivos sin sol y en eventos esporádicos (frecuencias no mayores de uno por mes).

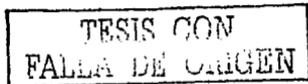
1.2.3 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

La instalación del sistema fotovoltaico se debe hacer en un lugar donde den directamente los rayos del sol y que exista forma de evitar la acumulación de agua de la lluvia. Además el sistema fotovoltaico deberá estar lo más cercano posible a los diferentes equipos que se van a alimentar, con lo cual se evitan grandes caídas de tensión en el cableado y en consecuencia un bajo rendimiento del sistema.

Instalación de los paneles solares.- los módulos deben orientarse hacia el ecuador. La instalación de los paneles se debe hacer en lugares donde no haya sombras, ya que éstas perjudican considerablemente la captación de la energía del sol.

Instalación de los componentes electrónicos que forman el sistema fotovoltaico.

- a. El controlador automático de cargas y el centro de distribución de cargas deben instalarse, lo más cercano posible al panel solar y al banco de baterías. Para evitar al máximo las caídas de tensión en los cables que forman las conexiones.
- b. El adaptador de voltaje de- de se debe instalar cerca de los aparatos de bajo consumo que se deseen alimentar con el sistema fotovoltaico.
- c. Las lámparas se pueden instalar en cualquier lugar que sea requerido, siempre y cuando el cable necesario para su conexión no exceda 10 m. A partir del centro de distribución de cargas.



Existen cuatro componentes principales en un sistema fotovoltaico básico.

1. Del módulo solar al controlador automático de carga.
2. Del controlador automático de carga a la batería.
3. Del controlador automático de carga al centro de distribución de cargas y de este punto hacia los equipos que se conectan al sistema
4. Del adaptador de voltaje DC-DC hacia los equipos que requieren voltajes de 12 Vcd y menos de 12 Vcd.

El calibre de los conductores depende de la cantidad de corriente que se vaya a demandar. Siendo necesario usar en los primeros tres casos anteriores cables calibre 10 AWG o mayores. Y en el cuarto caso se pueden emplear cables calibre 14 AWG o menores. La longitud de los cables depende de la ubicación de los distintos equipos conectados al sistema.

La conexión del sistema fotovoltaico debe hacerse de acuerdo al diagrama esquemático que aparece en la figura 1.3

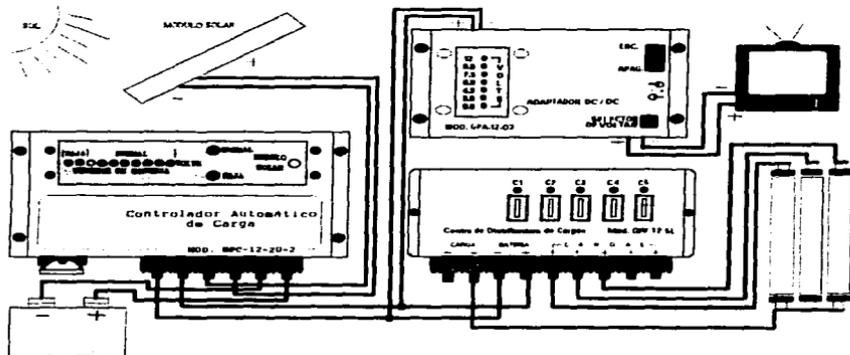


Figura 1.3 Diagrama con los componentes que forman parte de un sistema fotovoltaico básico

En toda la instalación los conductores utilizados deben tener la polaridad claramente identificada; en caso de utilizar el color de los forros para este propósito, el conductor positivo debe estar identificado con el color rojo y el negativo con el color negro.

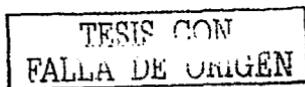
Primero se deben hacer las conexiones del centro de distribución de cargas, el adaptador y los consumidores de energía (cargas). Y por último las conexiones del controlador automático de carga en el siguiente orden.

1. Conectar los bornes del controlador marcados con cargas (+) y (-).
2. Conectar los bornes del controlador marcados con batería (+) y (-).
3. Conectar los bornes del controlador marcados con módulo (+) y (-).

En todas las conexiones se debe tener especial cuidado en la polaridad de los componentes que forman al sistema fotovoltaico para evitar daños tanto al equipo como al instalador. Por otro lado es importante asegurarse de que no exista ningún falso contacto en las conexiones de la instalación, ya que cualquiera de estos puede producir grandes pérdidas de energía y en consecuencia un funcionamiento deficiente del sistema fotovoltaico, debido a que este opera con 12v de corriente directa.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Consiste en mantener una revisión periódica del electrolito de las baterías, así como de las conexiones de los cables y limpiar con un trapo húmedo el panel por lo menos una vez cada tres meses.



1.3 BANCO DE BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO

Las baterías son dispositivos provistos de materiales activos que convierte directamente la energía química en energía eléctrica mediante reacciones electroquímicas y es capaz de almacenar electricidad en forma química por periodos prolongados. La función del banco de baterías es almacenar la electricidad producida por el módulo solar, y proporcionarla a las cargas que estén conectadas al sistema.

El banco de baterías permite extender el tiempo de operación del sistema fotovoltaico; le da capacidad para operar durante varios días consecutivos de baja radiación solar. Debido a la naturaleza intermitente de la radiación solar como fuente energética durante los periodos de baja demanda debe almacenarse el sobrante de energía solar para cubrir las necesidades cuando la disponibilidad sea insuficiente.

Las baterías pueden servir para almacenar el excedente de energía eléctrica producida por dispositivos eólicos o fotovoltaicos. Un concepto más global es la entrega del excedente de energía eléctrica a las redes existentes y el uso de éstas como fuentes suplementarias si la disponibilidad solar es insuficiente (ver figura 1.4).



Figura 1.4 En la imagen se muestra una batería sellada similar a las automotrices utilizada en sistemas fotovoltaicos

Este dispositivo es la parte de alimentación de un sistema fotovoltaico, ya que es aquí en donde se almacena la energía que será entregada a las cargas que sean conectadas al sistema. Prácticamente es aquí en donde los equipos a alimentar son conectados, por lo que es la que maneja la mayor corriente, de aquí el cuidado que requiere para el óptimo funcionamiento del sistema fotovoltaico.

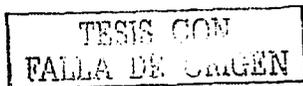
El controlador de cargas fotovoltaico es el encargado (entre otras cosas) de proporcionar el mantenimiento y la alimentación adecuadas a la batería con el fin de prolongar en lo posible la vida útil de éstas. Si bien lo recomendable es emplear baterías selladas (las cuales no requieren de mantenimiento), dichas baterías son costosas y muchas veces inaccesibles, motivo por el cual en países como México se emplean baterías de tipo automotriz.

Estas baterías tienen la diferencia de que el electrolito del que están hechas es más denso que el de una batería automotriz y tiene la desventaja de que requiere de cuidados especiales como son:

1. Llenado con agua en determinados períodos. Debido a que son baterías abiertas o a veces semi-selladas, el agua se evapora y hay que restituirla.
2. Reacomodamiento de los residuos que se desprenden de las celdas de la batería y se depositan en la parte inferior de la batería (homogenización).

1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA DESCARGA

En general, una batería (acumulador) se puede descargar a cualquier régimen de corriente sin que se dañen las celdas, pero la descarga no deberá continuar más allá del límite de descarga, para el régimen de que se trate, o bien, no se deberá continuar cuando se ha llegado al punto en que el voltaje se vuelve ineficaz para la aplicación particular. Durante la descarga se produce un pequeño aumento en la temperatura del acumulador entre 2.5 y 5.0 °C (5 y 10 °F), según el tipo y colocación del acumulador en lo que se refiere a disipación del calor. Debido a esto es que si dejamos que la batería se descargue más de la cuenta, además de que ya no alimentaría adecuadamente, se produciría una mayor dificultad para su carga, lo cual además también produce un aumento de temperatura, sobre todo en las celdas de la batería, con lo que, se reduciría hasta en un 50% la vida útil del acumulador.



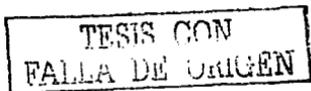
Específicamente, como indicamos anteriormente, nunca se debe descargar un acumulador más allá del momento en que las celdas llegan a su punto de agotamiento. Esto se denomina sobre - descarga y puede tener resultados perjudiciales, especialmente si el acumulador no es sometido prontamente a carga.

Durante toda la descarga, se forma cierta cantidad de sulfato de plomo, situación perfectamente normal y parte necesaria de la reacción química. Este sulfato de plomo ocupa mayor espacio que el plomo que conforma a la celda negativa, por ello, durante la descarga, el material de la citada celda se expande ligeramente. Si se prolonga la descarga más de lo previsto, el material puede expandirse al punto en que algunas porciones se separen de la celda y, por lo tanto, del circuito eléctrico. El material que se "pierde" en esa forma resta capacidad a la celda y tiende a separarse de la superficie de la placa y caer al fondo de la celda en forma de sedimentos.

1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

En general, un acumulador debe cargarse en un régimen que no produzca gasificación excesiva o que haga hervir el electrolito o que la temperatura de electrolito sea de 43°C (110°F) o, de 51°C (125°F) por períodos cortos. En este punto cabe citar que, el proyecto que aquí se va a desarrollar rompe con esta regla ya que el controlador de cargas fotovoltaico que se va a diseñar y aplicar en el control de un sistema fotovoltaico, tendrá la peculiaridad de hacer hervir el electrolito cada 30 días, esto se hará con el fin de mover el residuo que se desprende de las placas de la batería y que de no removerse, llegará un punto en que es tanto el residuo que se acumulará que puede llegar hacer contacto entre las placas provocando un corto circuito y por ende el daño de la batería (mantenimiento de las baterías). Si bien en una batería automotriz por existir el movimiento propio del vehículo, nunca llegan a acumularse los residuos para llegar a causar daños por corto circuito en las baterías, en un sistema fotovoltaico la batería siempre esta estática y no existe ninguna fuerza externa que haga que los residuos no se acumulen en un solo punto dentro de la batería, motivo por el cual al hacer hervir el electrolito (acción a la que para efectos del diseño se denominará homogenización) se logra que ese residuo se renueva al hervir el electrolito.

Una cantidad excesiva de carga corroerá o formará las rejillas de las placas y las volverá peróxido de plomo, con lo cual, las debilitará físicamente y les hará aumentar la resistencia eléctrica que oponen. Si la sobre carga es a regímenes relativamente elevados, la gasificación será excesiva y eso tiende a desprender el material activo de las placas positivas. Todo ello da por resultado una disminución en la capacidad y en la vida útil del acumulador.



Controlador de Cargas.- El sistema fotovoltaico requiere de un equipo que sea capaz de conectar y desconectar las cargas de las baterías en los niveles de voltaje adecuados y que además dicho equipo sea capaz de darle la protección adecuada a las baterías. Este equipo es el Controlador de Cargas, el cual es el cerebro del sistema fotovoltaico. En la figura 1.5 se muestra un controlador de cargas que funciona a partir de relevadores electrónicos, en la actualidad los relevadores han sido sustituidos por transistores MOSFET a los cuales se les conoce como *Controladores de estado sólido*.

Además sirve para evitar la descarga de la batería a través del módulo solar en periodos sin sol. De igual manera evita que la batería opere con voltajes por debajo de lo permitido, protegiendo así a los equipos conectados al sistema y aumentando el tiempo de vida útil de la batería. Este dispositivo cuenta también con un fusible para proteger al sistema contra corrientes excesivas; y un indicador luminoso del estado de carga de la batería.

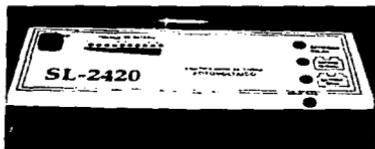


Figura 1.5 En la imagen se muestra un controlador de Cargas para un sistema de 24 voltios y 20 amperios

Otros componentes que forman parte de un sistema fotovoltaico (aunque de menor importancia), son aquellos dispositivos auxiliares que permiten conectar otros equipos y se les conoce como *Adaptadores e inversores*, dichos elementos se describen a continuación:

1. **Adaptador de voltaje de-dc.-** Para aprovechar mejor los beneficios del sistema fotovoltaico, se utiliza el adaptador de-dc, el cual nos permite usar aparatos de bajo consumo, de 3.0 volts hasta 12 volts, como son radios, televisores, etc.

Inversor cd-ca.- Transforma la corriente directa que genera el sistema fotovoltaico (12 volts) en corriente alterna (127 volts) para el uso de diferentes aparatos electrodomésticos tales como. t.v. color, licuadora, lavadora, lámparas, etc.

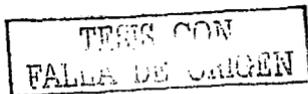
CAPITULO 2.- ARQUITECTURA DEL MICROCONTROLADOR PIC16C711

Este componente es la parte fundamental para el desarrollo de cualquier sistema automático actual y dentro de este proyecto del diseño del **Controlador Automático de Cargas**, ya que juega un papel importante en la etapa de control y de sensado de las señales que se van a monitorear y los parámetros que deben controlarse. Es por eso que en este capítulo se mencionaran las funciones de este componente, las cuales están basadas principalmente en funciones lógicas.

Es importante conocer como funciona este componente para poder entender el programa que contiene los algoritmos de operación del **Controlador de Cargas** y que es sólo un ejemplo de las muchas aplicaciones que se pueden realizar con un **Sistema de Control**, ya sea de tipo dedicado (como el caso del Controlador de Cargas) o del tipo de **Control Distribuido** (en el cual se controlan diferentes parámetros por medio de PLC's).

En principio un microcontrolador es un componente digital muy poderoso, que es capaz de llevar a cabo tareas en tiempos de operación muy cortos, teniendo como parte esencial de su operación instrucciones basadas en operaciones lógico-binarias que permiten por medio de programación hacer de este componente (en conjunto con algunos periféricos) un micro sistema de control a nivel circuito impreso que nos viene a reducir costos (ya que con pocos componentes se puede obtener un sistema bastante robusto de control) y tamaños de las tarjetas de control. En este **Controlador de Cargas** se da sólo un ejemplo de las muchas aplicaciones que se pueden tener en un sistema de control integrado dentro de un componente tan pequeño como un microcontrolador o tan complejo como lo sería un sistema basado en PLC's.

Los sistemas de control son actualmente una solución novedosa a los diversos problemas cotidianos que surgen en la vida cotidiana ya sea dentro de la industria o en el hogar, muchos de los aparatos electrónicos que están surgiendo en la actualidad operan con pequeños sistemas de control integrado en un **Microchip** y tarjetas con pocos componentes electrónicos, que nos ofrecen bastantes bondades en comodidad, novedad y excelente control de las diferentes tareas que realizan sistemas más grandes controlados por medio de estos micro sistemas de control.



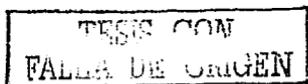
2.1 ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador, se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación controlador incrustado (*embedded controller*).

El microcontrolador es un computador dedicado, en su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada / salida soportan la conexión de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

El número de productos que funcionan en base a uno o varios microcontroladores aumenta de forma exponencial. No es aventurado pronosticar que en el siglo XXI habrá pocos elementos que carezcan de microcontrolador. En esta línea de prospección, la empresa **Dataquest** calculó que para este año (2002) en cada hogar americano existiría un promedio de 240 microcontroladores en los aparatos electrónicos actuales.

La industria informática acapara gran parte de los microcontroladores que se fabrican, casi todos los periféricos del computador, desde el ratón o el teclado hasta la impresora, son regulados por el programa de un microcontrolador. Los electrodomésticos de línea blanca (lavadoras, hornos, lavavajillas, etc.) incorporan numerosos microcontroladores. Igualmente los sistemas de supervisión, vigilancia y alarma en los edificios utilizan estos chips para optimizar el rendimiento de ascensores, calefacción, aire acondicionado, alarmas de incendio, robo, etc.



2.2 DIFERENCIA ENTRE MICROPROCESADOR Y MICROCONTROLADOR

El microprocesador es un circuito integrado que contiene la Unidad Central de Proceso (UCP), también llamada **procesador** de un computador. La UCP está formada por la **Unidad de Control**, que es la encargada de interpretar las instrucciones, y el **Bus de Datos** que las ejecuta.

Los pines de un microprocesador sacan al exterior las líneas de sus buses de direcciones, datos y control, para permitir conectarle con la memoria y los módulos de E / S y configurar un computador implementado por varios circuitos integrados. Se dice que un microprocesador es un **Sistema Abierto** porque su configuración es variable de acuerdo con la aplicación a la que se destine. (Figura 2.1)

Un microprocesador es un **sistema abierto** con el que puede construirse un computador con las características que se desee, acoplándole los módulos necesarios.

Un microcontrolador es un **sistema cerrado** que contiene un computador completo y de prestaciones limitadas que no se puede modificar.

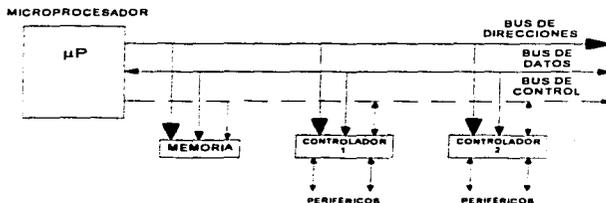


Figura 2.1 Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador. La disponibilidad de los buses en el exterior permite que se configure a la medida de la aplicación.

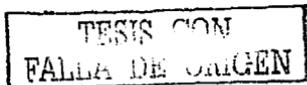
2.3 ARQUITECTURA INTERNA DEL MICROCONTROLADOR PIC16C711

Un microcontrolador posee todos los componentes de un computador, pero con unas características fijas que no pueden alterarse.

Las partes principales de un microcontrolador son:

1. Procesador
2. Memoria no volátil (EPROM) en donde se graba el programa
3. Memoria de lectura y escritura para guardar los datos (RAM)
4. Líneas de E / S para los siguientes controladores de periféricos:
 - a) Comunicación paralela
 - b) Comunicación serie
 - c) Diversas puertas de comunicación (bus I²C, USB, etc.)
5. Recursos auxiliares:
 - a) Circuito de reloj
 - b) Temporizadores
 - c) Perro guardián (Watch Dog)
 - d) Convertidores A / D y D / A
 - e) Comparadores analógicos
 - f) Protección ante fallos de la alimentación
 - g) Estado de reposo (stand by) o de bajo consumo

A continuación se describirán las características más representativas de cada uno de los componentes del microcontrolador.



2.3.1 EL PROCESADOR

La necesidad de conseguir elevados rendimientos en el procesamiento de las instrucciones ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura **Harvard** frente a los tradicionales que seguían la arquitectura de **Von Neumann**. Esta última se caracterizaba porque la UCP se conectaba con una memoria única, donde coexistían datos e instrucciones, a través de un sistema de buses. (Véase Figura 2.2)

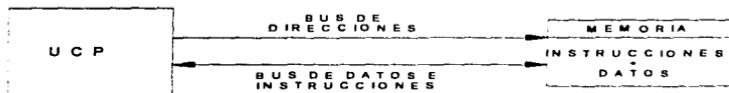
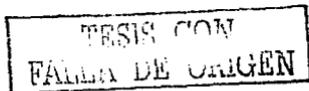


Figura 2.2 En la arquitectura de Von Neumann la UCP se comunicaba a través de un sistema de buses con la memoria en donde se guardaban las instrucciones y los datos.

En la arquitectura **Harvard** son independientes la memoria de instrucciones y la memoria de datos y cada una dispone de su propio sistema de buses para el acceso. Esta dualidad, además de propiciar el paralelismo, permite la adecuación del tamaño de las palabras y los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y de los datos. También la capacidad de cada memoria es diferente (Figura 2.3). El procesador de los modernos microcontroladores corresponde a la arquitectura **RISC** (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido), que se identifica por poseer un repertorio de instrucciones máquina pequeño y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecuta en un ciclo de instrucción. Otra aportación frecuente que aumenta el rendimiento del computador es el fomento del paralelismo implícito, que consiste en la segmentación del procesador (pipe-line), descomponiéndolo en etapas para poder procesar una instrucción diferente en cada una de ellas y trabajar con varias a la vez.

El alto rendimiento y elevada velocidad que alcanzan los modernos procesadores que poseen los microcontroladores, se debe a la conjunción de tres técnicas.

- Arquitectura Harvard
- Arquitectura RISC
- Segmentación



2.3.2 MEMORIA DE PROGRAMA

El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa se almacenen todas las instrucciones del programa de control. No hay posibilidad de utilizar memorias externas de ampliación.

Como el programa a ejecutar siempre es el mismo, debe estar grabado de forma permanente. Los tipos de memoria adecuados para soportar esta función admiten cinco versiones diferentes, las cuales se muestran en la figura 2.3

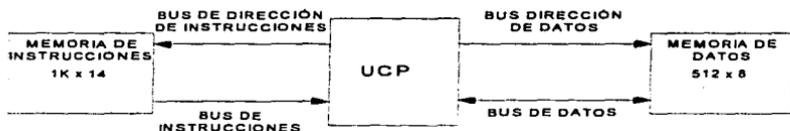


Figura 2.3 En la arquitectura Harvard la memoria de instrucciones y las de datos son independientes, lo que permite optimizar sus características y propiciar el paralelismo. En la figura, la memoria de instrucciones tiene 1K posiciones de 14 bits cada una, mientras que la de datos sólo dispone de 512 posiciones de un byte.

2.3.2.1 ROM CON MÁSCARA

En este tipo de memoria el programa se graba en el chip durante el proceso de su fabricación mediante el uso de máscaras. Los altos costes de diseño e instrumental sólo aconsejan usar este tipo de memoria cuando se precisan series muy grandes.

2.3.2.2 MEMORIA EPROM

La grabación de esta memoria se realiza mediante un dispositivo físico gobernado desde un computador personal, que recibe el nombre de grabador. En la superficie de la cápsula del microcontrolador existe una ventana de cristal por la que se puede someter al chip de la memoria a rayos ultravioleta para borrarla y emplearla nuevamente. Es interesante la memoria EPROM en la fase de diseño y depuración de los programas, pero su coste unitario es elevado.

2.3.2.3 MEMORIA OTP (PROGRAMABLE UNA VEZ)

Este modelo de memoria sólo se puede grabar una vez por parte del usuario, utilizando el mismo procedimiento que con la memoria EPROM. Posteriormente no se puede borrar, su bajo precio y la sencillez de la grabación aconsejan este tipo de memoria para prototipos finales y series de producción cortas.

2.3.2.4 MEMORIA EEPROM

La grabación es similar a las memorias OTP y EPROM. Pero el borrado es mucho más sencillo al poderse efectuar de la misma forma que el grabado, o sea, eléctricamente. Sobre el mismo zócalo del grabador puede ser programada y borrada tantas veces como se requiera, lo cual la hace ideal en la enseñanza y en la creación de nuevos proyectos. El PIC16C711 dispone de 1K de palabras de memoria EEPROM para contener instrucciones y también tiene algunos bytes de memoria de datos de este tipo para evitar que cuando se retire la alimentación se pierda la información.

Aunque se garantizan 1,000,000 de ciclos de escritura / borrado en una EEPROM. Todavía su tecnología de fabricación tiene obstáculos para alcanzar capacidades importantes y el tiempo de escritura de las mismas es relativamente grande y con elevado consumo de energía.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3.2.5 MEMORIA FLASH

Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar en circuito al igual que las EEPROM, pero suelen disponer de mayor capacidad que éstas últimas. El borrado sólo es posible con bloques completos y no se puede realizar sobre posiciones concretas.

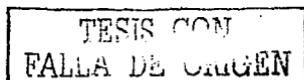
Son muy recomendables en aplicaciones en las que sea necesario modificar el programa a lo largo de la vida del producto, como consecuencia del desgaste o cambios de piezas, como sucede con los vehículos.

Por sus mejores prestaciones está sustituyendo a la memoria EEPROM para contener instrucciones. De esta forma **Microchip** comercializan dos microcontroladores prácticamente iguales, que sólo se diferencian en que la memoria de programa de uno de ellos es tipo EEPROM y la del otro tipo Flash. Se trata del PIC16C84 y el PIC16F84, respectivamente (de hecho el PIC16C84 ya no se está fabricando).

2.3.2.6 MEMORIA DE DATOS

Los datos que manejan los programas varían continuamente, y esto exige que la memoria que les contiene debe ser de lectura y escritura, por lo que la memoria RAM estática (SRAM) es la más adecuada, aunque sea volátil.

Hay microcontroladores que disponen como memoria de datos una de lectura y escritura no volátil, del tipo EEPROM. De esta forma, un corte en el suministro de la alimentación no ocasiona la pérdida de la información, que está disponible al reiniciarse el programa. El PIC16C84, PIC16F83 y el PIC16F84 disponen de 64 bytes de memoria EEPROM para contener datos.



2.3.3 LÍNEAS DE E / S PARA LOS CONTROLADORES DE PERIFÉRICOS

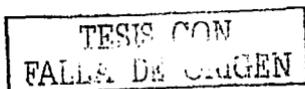
A excepción de dos pines del microcontrolador destinados a recibir alimentación, otras dos para la señal de reloj, que regula la frecuencia de trabajo, y una más para provocar el Reset, las restantes terminales o pines del microcontrolador sirven para soportar su comunicación con los periféricos externos que controla.

Las líneas de E / S que se adaptan con los periféricos manejan información en paralelo y se agrupan en conjuntos de ocho, que reciben el nombre de **Puertos**. Hay modelos con líneas que soportan la comunicación en serie; otros disponen de conjuntos de líneas que implementan puertos de comunicación para diversos protocolos. Como el I²C, el USB, etc.

2.3.4 RECURSOS AUXILIARES

Según las aplicaciones a las que orienta el fabricante, cada modelo de microcontrolador incorpora una diversidad de complementos que refuerzan la potencia y la flexibilidad del dispositivo. Entre los recursos más comunes se citan los siguientes:

- a) *Circuito de reloj*, encargado de generar los impulsos que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.
- b) *Temporizadores*, orientados a controlar tiempos.
- c) *Perro Guardián (watchdog)*, destinado a provocar una reinicialización cuando el programa queda bloqueado.
- d) *Convertidores A / D y D / A*, para poder recibir y enviar señales analógicas.
- e) *Comparadores analógicos*, para verificar el valor de una señal analógica.
- f) *Sistema de protección ante fallos de la alimentación*.
- g) *Estado de reposo*, en el que el sistema queda **congelado** y el consumo de energía se reduce al mínimo.



2.3.4.1 CIRCUITO DE RELOJ

El PIC16C711 puede ser operado con cuatro diferentes tipos de oscilador. El usuario puede programar dos bits de configuración (FOSC1 y FOSC0) para seleccionar uno de estos cuatro osciladores:

+ LP	Cristal de Baja Potencia
+ XT	Cristal / Resonante
+ HS	Cristal de Alta Velocidad / Resonante
+ RC	Resistor / Capacitor

En las opciones de XT, LP o HS un cristal o un resonante cerámico es conectado a las terminales del microcontrolador PIC16C711 (OSC1 / CLKIN y OSC2 / CLKOUT) para establecer la oscilación. El diseño del oscilador para PIC16C711 requiere de un cristal en paralelo. El PIC16C711 puede operar con frecuencias de operación que van desde los 20 KHz hasta los 20 MHz.

El microcontrolador también puede operar con un oscilador externo, el cual puede ser diseñado a partir de circuitos TTL y un cristal con lo cual se obtiene una buena actuación del oscilador. Dos diferentes tipos de cristal pueden ser utilizados en este circuito oscilador externo: cristal con resonancia en serie y cristal con resonancia en paralelo.

Por otra parte el oscilador RC puede ser utilizado cuando en nuestra aplicación no existen grandes variaciones ambientales debidas a ruido por interferencias electromagnéticas o bien por clima (calor o frio excesivos), ya que este tipo de osciladores son muy sensibles sobre todo a la temperatura, pues hay que recordar que la temperatura hace variar tanto la capacitancia como la resistencia de estos componentes, con lo cual nuestra señal de reloj, obviamente, variará en el tiempo.

2.3.4.2 MÓDULO TEMPORIZADOR (TIMER0)

El módulo temporizador TIMER0 es un temporizador / contador que tiene las siguientes características:

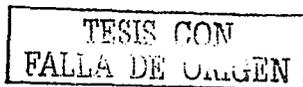
- ✦ Temporizador / contador de 8 bits.
- ✦ Se puede leer y escribir en él.
- ✦ Pre-escalador de 8 bits programable por software.
- ✦ Selección de reloj externo o interno.
- ✦ Interrupción por sobre flujo desde FFh hasta 00h
- ✦ Selección del filo del reloj externo.

La función de temporizador es habilitada poniendo a cero (borrando) el bit 5 del registro OPTION_REG (TOCS). En el modo de temporizador, el TIMER0 incrementará cada ciclo de instrucción (sin pre-escalador). Si el TIMER0 es escrito, el incremento es inhibido por los siguientes 2 ciclos de instrucción. El usuario puede ajustar el valor del TIMER0 para determinar el tiempo de operación.

La función de contador se selecciona poniendo un uno en el bit 5 del registro OPTION_REG (TOCS). En el modo de contador, el TIMER0 incrementará en cada filo de reloj ascendente o descendente que se aplique por el pin RA4 / TOCK1.

Una interrupción en el TIMER0 se generará cuando el TIMER0 registre un sobre flujo desde FFh hasta 00h. Este sobre flujo se ubica en el bit T0IF (INTCON <2>). La interrupción puede ser enmascarada o evitada borrando el bit T0IE (INTCON <5>). Este bit es borrado a través de software, con esto se evita que en el TIMER0 se produzca una interrupción a causa de un sobre flujo (lo cual no es deseado pues el programa se perdería y ocasionaría eventos erróneos).

El pre-escalador es un contador de 8 bits disponible como pre-escalador en el TIMER0 y como postcalador en el WatchDog Timer.



2.3.4.3 MÓDULO WatchDog Timer (WDT)

El WatchDog Timer es un oscilador RC independiente, el cual no requiere de componentes externos para su operación. Este oscilador RC es independiente del oscilador RC externo que se halla conectado al microcontrolador por medio de los pines OSC1 / CLKIN y OSC2 / CLKOUT. Durante una operación normal, el WDT genera un RESET en el microcontrolador. Si por ejemplo, el microcontrolador se halla en el estado de SLEEP (durmiendo), el WDT causará que el microcontrolador se despierte y continúe trabajando de forma normal. El WDT puede ser activado o desactivado de forma permanente al momento de grabar la memoria EPROM del microcontrolador con el software de control ya que una de las opciones del programa para grabar al microcontrolador da esa opción (habilitar WDT / deshabilitar WDT)

2.3.4.4 MÓDULO CONVERTIDOR A / D

El convertidor A / D es un módulo convertidor de cuatro entradas. El A / D permite la conversión a la entrada de una señal analógica en un número digital de 8 bits (lo cual es así debido a que este es un convertidor de 8 bits). El resultado de la señal muestreada se obtiene a la vez, por medio del método de aproximaciones sucesivas. Este convertidor requiere además, de un voltaje de referencia, el valor del cual se puede seleccionar por medio de software o bien del mismo voltaje de alimentación del microcontrolador (V_{DD}) o bien del voltaje de nivel que se halla en el pin RA3 / AN3 / V_{REF}).

El convertidor A / D tiene la una única característica especial de poder ser habilitado para operar mientras el microcontrolador opera en el modo SLEEP. Para operar mientras duerme el microcontrolador, el reloj del convertidor A / D se obtendrá desde un oscilador interno RC.

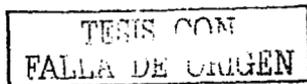
El módulo convertidor A / D tiene tres registros. Estos registros son:

Registro de resultados del convertidor A / D (ADRES).

Registro de control 0 (ADCON0).

Registro de control 1 (ADCON1).

Los componentes descritos convertidor A / D, TIMER0, circuito de reloj y WDT, se explican de forma más concisa porque serán utilizados en el proyecto, y se describirá su función posteriormente dentro del programa, con el fin de no profundizar demasiado en detalles y salir del concepto del proyecto.



2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS DEL MICROCONTROLADOR PIC16C711

El microcontrolador PIC16C711 esta compuesto de 18 terminales, esto en sus características básicas más importante, a continuación se describe de forma más concisa pero sencilla el resto de las características del microcontrolador.

a) Características Físicas del CPU RISC

- ❖ Se programa solamente con 35 instrucciones.
- ❖ Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo, excepto los saltos, que se ejecutan en 2 ciclos.
- ❖ Velocidad de operación: Entrada del reloj de 20 MHz – DC.
- ❖ Duración del ciclo por instrucción: 200 ns (con entrada de reloj de 20 MHz).
- ❖ Memoria de programa de 1024 palabras.
- ❖ Memoria RAM con capacidad de 68 bytes.
- ❖ Instrucciones con un ancho de 14 bits.
- ❖ Byte de datos con un ancho de 8 bits.
- ❖ 15 funciones especiales de registro del hardware.
- ❖ Pila del hardware de 8 niveles.
- ❖ Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- ❖ Cuatro diferentes tipos de interrupción:
 - Interrupción externa, a través del pin RB0/INT
 - Interrupción por sobre flujo del TMR0
 - Interrupción por cambio en el PORTB<7:4>

b) Características de los periféricos del microcontrolador

- ❖ 13 pines de E / S con control individual de dirección.
- ❖ Corriente alta de alimentación y de salida para control directo de LED's.
- ❖ TMR0: temporizador / contador con pre - escalador programable de 8 bits.

c) Características especiales del microcontrolador

- ❖ Programación serial por medio de dos pines (ICSP™).
- ❖ Encendido con Reset (POR).
- ❖ Encendido por medio del Temporizador (PWRT).
- ❖ Puesta en marcha a través del oscilador del Temporizador (OST).
- ❖ Temporizador WatchDog (WDT) con su propio oscilador RC para lograr un funcionamiento confiable.
- ❖ Código de protección.
- ❖ Modo de ahorro de energía (SEP).
- ❖ Opción para seleccionar diferentes tipos de osciladores externos (para la señal de reloj).

d) Características físicas del microcontrolador

A continuación describiremos las funciones que tienen cada uno de los pines del microcontrolador. En la figura 2.4 se muestra el cuerpo del encapsulado del microcontrolador y posteriormente se hará su descripción:

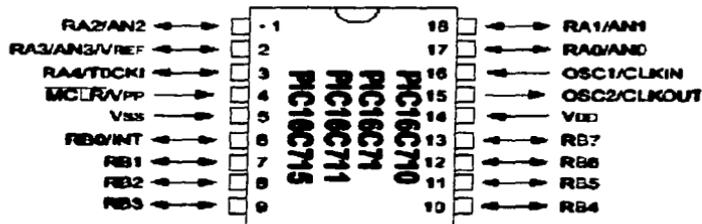


Figura 2.4 Diagrama esquemático

El microcontrolador PIC PIC16C711 cuenta con 13 puertos de comunicación, ocho son marcadas como PORTB0 hasta PORTB7 y cada uno de estos puertos cuenta con resistencias internas a base de transistor (Pull-up); tiene puertos PORTA0 hasta PORTA4 donde PORTA4 tiene además la función de ser una entrada para reloj externo; todos estos puertos pueden ser configurables como entradas o como salidas por medio de software.

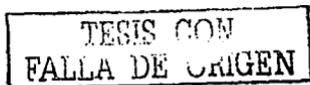
Cuenta además con un Master Clear (\overline{MCLR}) que permite reiniciar el microcontrolador de forma externa, tiene 2 terminales de alimentación (V_{SS} y V_{DD}) y 2 terminales para conectar el circuito oscilador que proporcionará la señal de reloj (OSC1/CLKIN y OSC2/CLKOUT).

2.5 PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES PIC

La utilización de los lenguajes más cercanos a la máquina (de bajo nivel) representan un considerable ahorro de código en la confección de los programas, lo que es muy importante dada la estricta limitación de la capacidad de la memoria de instrucciones. Los programas bien realizados en lenguaje Ensamblador optimizan el tamaño de la memoria que ocupan y su ejecución es muy rápida.

Los lenguajes de alto nivel más empleados con microcontroladores son el C y el BASIC, de los que existen varias empresas que comercializan versiones de compiladores e intérpretes para diversas familias de microcontroladores. En el caso de los PIC16C711 (el cual es el modelo que se utilizará para el desarrollo de éste proyecto) es muy competitivo e interesante el compilador de C **PCM** de la empresa **CCS** y el **PBASIC** de **microLab Engineering**, ambos comercializados en España por **Microsystems Engineering**.

Hay versiones de intérpretes de BASIC que permiten la ejecución del programa línea a línea y, en ocasiones, residen en la memoria del propio microcontrolador. Con ellos se puede escribir una parte del código, ejecutarlo y comprobar el resultado antes de proseguir.



CAPITULO 3.- INSTRUCCIONES DEL MICROCONTROLADOR PIC16C711

Todos los modelos de microcontroladores PIC (como el que se utiliza en este proyecto) corresponden a la arquitectura RISC, que significa "Computador de Juego de Instrucciones Reducido". No sólo implica que el número de instrucciones máquina que es capaz de interpretar y ejecutar el procesador es pequeño, como sucede en los PIC 16C711, que consta de 35, sino también que posee las siguientes características:

1ª Las instrucciones son simples y rápidas

La falta de complejidad en la operación que realizan las instrucciones de los procesadores RISC permite que sean ejecutadas, mayoritariamente, en un solo ciclo de instrucción. Los PIC tardan en ejecutar todas las instrucciones un ciclo, excepto las de salto, que tardan el doble.

2ª Las instrucciones son ortogonales

Apenas tienen restricciones en el uso de operandos. Cualquier instrucción puede usar cualquier operando.

3ª La longitud de las instrucciones y los datos son constantes

Todas las instrucciones tienen la misma longitud (14 bits) en los PIC16C711, y todos los datos también (un byte). La arquitectura Harvard del procesador aísla la memoria de instrucciones de la de datos, pudiendo tener diferente tamaño sus palabras.

3.1 FORMATO DE LAS INSTRUCCIONES

Las instrucciones de los PIC de la gama media, entre los que se encuentran los modelos PIC16C711, tienen 14 bits de longitud. Dicho formato se divide en diferentes campos de bits, cada uno de los cuales referencia a operandos o elementos que maneja la instrucción en la operación que realiza en el procesador. A continuación se describen dichos campos:

a) *Campo del código OP*

Los bits de este campo sirven para definir la operación que realiza la instrucción.

b) *Campo de los operando fuente (f) y destino (d)*

Estos campos de bits definen los registros que actúan como operandos en la instrucción. Suelen referenciar la dirección que ocupan en la memoria de datos.

c) *Campo de operando inmediato o literal (k)*

Es un campo de bits que contiene el valor de un operando inmediato.

d) *Campo que referencia a un bit (b)*

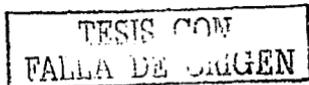
Suele ser un campo de 3 bits que indica la posición de un bit concreto dentro de un registro de 8 bits.

e) *Campo de la dirección del salto*

En las instrucciones de salto CALL y GOTO hay un campo de bits que contiene la dirección de la siguiente instrucción que hay que ejecutar. Dicho campo de bits se carga en el PC (Contador de Programa) de las instrucciones de salto incondicional.

Para facilitar el estudio de los diversos formatos que admiten las instrucciones del repertorio de los PIC16C711 se clasifican en tres grandes grupos, atendiendo el tipo de operación que desarrollan.

- a) Operaciones orientadas a manejar registros de tamaño byte.
- b) Operaciones orientadas a manejar bits.
- c) Operaciones de literal y control.



3.1.1 DEFINICIÓN DE LOS REGISTROS DE CAMPO

Como observamos anteriormente, los campos de bits hacen uso de registros, cada uno de los cuales tienen una función específica dentro de cada campo, a continuación describimos cuales son estas funciones.

a) Operaciones orientadas a manejar registros de tamaño byte

La literal **f** (designador de registro) se utiliza para designar un registro de archivo, no significa que se utilice directamente como **f**, sino que es sólo un indicador que denota que en esa posición debe colocarse el archivo que se requiere modificar (previamente definido como registro al iniciar la corrida del programa).

La literal **d** (designador de destino) representa un destino, que es aquel en el cual se cargará el valor que halla adquirido el registro denotado con la literal **f** después de su modificación (dicha modificación se dará por alguna operación lógica originada por una instrucción).

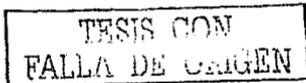
El designador de destino especifica donde deberá ser colocado el resultado de la operación. Si **d** tiene el valor cero, el resultado será colocado en el registro **W**. Si el resultado en **d** tiene el valor uno, el resultado será colocado en el archivo de registro especificado en la instrucción.

b) Operaciones orientadas a manejar bits

La literal **b** es un designador de bit de campo, el cual selecciona el número de bit afectado por la operación, mientras que el literal **f** representa el número del archivo en el cual está localizado el bit.

c) Operaciones de literal y control

En el caso de este tipo de operaciones, la literal **k** representa un bit constante ocho u once o un valor literal.



3.1.2 JUEGO DE INSTRUCCIONES DEL MICROCONTROLADOR PIC16C711

A continuación se detallan en la tabla 3.1 las instrucciones que sirven para programar el microcontrolador, en dicha tabla se hallan ordenadas las instrucciones por categoría:

Instrucción	Operación	No. de ciclos (duración de la instrucción)	Bandas afectadas
OPERACIONES ORIENTADAS A TRABAJAR REGISTROS DE TAMAÑO BYTE			
ADDWF	f, d Aplica ADD a W con f	1	C, CD
ANDWF	f, d Aplica AND a W con f	1	Z
CLRF	f Borra f	1	Z
COMF	f, d Complementa f	1	Z
DECF	f, d Decrementa f	1	Z
DECFSZ	f, d Decrementa f y salta si es cero	1 (2)	Z
INCF	f, d Incrementa f	1	Z
INCSZ	f, d Incrementa f y salta si es cero	1 (2)	Z
IORWF	f, d Aplica OR inclusive a W con f	1	Z
MOVF	f, d Mueve f	1	Z
MOVWF	f Mueve W hacia f	1	
NOP	- No-operación	1	
RLF	f, d Rotar f hacia la izquierda por acarreo	1	C
RRF	f, d Rotar f hacia la derecha por acarreo	1	C
SUBWF	f, d Substrae W desde f	1	C, DC
SWAPF	f, d Swapea los nibbles en f	1	
XORWF	f, d Aplica OR exclusiva a W con f	1	Z
OPERACIONES ORIENTADAS A MANEJAR BITS			
BCF	f, b Poner bit cero en f	1	
BSE	f, b Poner bit uno en f	1	
BTFSC	f, b Revisar el bit en f y saltar si es cero	1 (2)	
BTFSS	f, b Revisar el bit en f y saltar si es uno	1 (2)	
OPERACIONES ORIENTADAS A MANEJAR LITERAL Y CONTROL			
ADDLW	k Aplica ADD a W con el literal	1	
ANDLW	k Aplica AND a W con el literal	1	
CALL	- llama a una subrutina	1	
CLRWDI	- Borra el Watch Dog Timer	1	
GOTO	k Va a la dirección especificada	1	
IORLW	k Aplica OR inclusive a W con el literal	1	
MOVLW	k Mueve el literal hacia W	1	
RETEIE	- Regresa de la interrupción	1	
RETLW	k Regresa con el valor literal en W	1	
RETURN	- Regresa de la subrutina	1	
SLEEP	- Activa el modo de stand by	1	
SUBLW	k Substrae W del literal	1	
XORLW	k Aplica OR exclusiva a W con el	1	

Tabla 3.1 Juego de instrucciones

Nota: Las instrucciones marcadas con (2) indican que se requieren 2 ciclos al momento de efectuarse el salto

3.1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTRUCCIONES

Todos los valores numéricos, son valores en hexadecimal y se les representa con **xnn**. Las instrucciones que se describen a continuación, se irán detallando en orden alfabético para su fácil comprensión.

ADDLW (Aplica ADD a W con el literal k)

El contenido del registro W es adicionado a los ocho bits del literal k y el resultado es colocado en el registro W.

Ejemplo:

ADDLW 0x15

Antes de la instrucción:

W = 0x10

Después de la instrucción

W = 0x25

Tal que:

 0001 0101
+ 0001 0000
Resp. 0010 0101

ADDWF (Aplica ADD a W con f)

Se suman los contenidos del registro W con los del registro f. Si el resultado es cero éste se almacenará en el registro Z. Si el resultado es uno éste se respaldará en el registro f.

Ejemplo:

ADDWF FSR, 0

Antes de la instrucción:

W = 0x17
FSR = 0xC2

Después de la instrucción

W = 0xD9
FSR = 0xC2

Tal que:

W + FSR (W = C+1 = D 7+2 = 9)
∴ W = D9 y FSR permanece sin cambios.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANDLW (Aplica AND a W con el literal k)

Los contenidos del registro W son multiplicados con el octavo bit del literal k. El resultado es colocado en el registro W.

Ejemplo:

ANDLW 0x5F

Antes de la instrucción:

W = 0XA3

Después de la instrucción

W = 0x03

Tal que:

0101 1111

* 1010 0011

Resp. 0000 0011

ANDWF (Aplica AND a W con f)

El registro W se multiplica con el registro f. Si el resultado es cero, éste se almacenará en el registro W. Si el resultado es uno éste se respaldará en el registro f.

Ejemplo:

ANDWF FSR, 1

Antes de la instrucción:

W = 0x17

FSR = 0xC2

Después de la instrucción

W = 0x17

FSR = 0x02

Tal que:

W AND FSR (FSR = C AND 1 = 0 7 AND 2 = 2)

∴ FSR = 02 y W permanece sin cambios

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BCF (Pone bit cero en 0)

Ejemplo:

BCF FLAG_REG, 7

Antes de la instrucción:
FLAG_REG = 0xC7

Después de la instrucción
FLAG_REG = 0x47

Tal que:

Antes de borrar el bit 7:
1100 0111 (El bit 7 vale uno)

Después de borrar el bit 7:
0100 0111 (El bit 7 vale cero)

BSF (Poner bit uno en 0)

Ejemplo:

BSF FLAG_REG, 7

Antes de la instrucción:
FLAG_REG = 0x0A

Después de la instrucción
FLAG_REG = 0x8A

Tal que:

Antes de poner uno en el bit 7:
0000 1010 (El bit 7 vale cero)

Después de poner uno en el bit 7:
1000 1010 (El bit 7 vale uno)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BTFS (Revisar el bit en f y saltar si es cero)

Si el bit en el registro f es uno, entonces la siguiente instrucción es ejecutada.

Si el bit en el registro f es cero, entonces la siguiente instrucción es descartada, y un NOP es ejecutado inmediatamente, provocando que esta instrucción se lleve a cabo en 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

INICIO	BTFS	FLAG, 1
Vale 1 (falso)	GOTO	PROCESA
Vale 0 (verdadero)		

Antes de la instrucción:

PC = Dirección INICIO

Después de la instrucción:

Si FLAG=	=	0,
PC	=	Dirección verdadero
Si FLAG=	=	1,
PC	=	Dirección falso

BTFS (Revisar el bit en f y saltar si es cero)

Si el bit en el registro f es cero, entonces la siguiente instrucción es ejecutada.

Si el bit en el registro f es uno, entonces la siguiente instrucción es descartada, y un NOP es ejecutado inmediatamente, provocando que esta instrucción se lleve a cabo en 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

INICIO	BTFS	FLAG, 1
Vale 0 (falso)	GOTO	PROCESA
Vale 1 (verdadero)		

Antes de la instrucción:

PC = Dirección INICIO

Después de la instrucción:

Si FLAG	=	0,
PC	=	Dirección falso
Si FLAG	=	1,
PC	=	Dirección verdadero

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CALL (Llama a una subrutina)

Primero llama a una subrutina y después regresa una dirección más de donde se originó la llamada (PC + 1). Esta instrucción se ejecuta en 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

Origen CALL READ

Antes de la instrucción:

PC = Dirección Origen

Después de la instrucción:

PC = READ

TOS = Dirección Origen + 1

CLRW (Borra W)

El registro W es borrado y el bit Z es puesto a 1.

Ejemplo:

CLRW

Antes de la instrucción:

W = 0X5A

Después de la instrucción:

W = 0x00

Z = 1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CLRF (Borra F)

Los contenidos del registro F son borrados y el bit Z es puesto a 1.

Ejemplo:

CLRF FLAG_REG

Antes de la instrucción:
FLAG_REG = 0x5A

Después de la instrucción:
FLAG_REG = 0x00
Z = 1

CLRWDT (Borra el Watch Dog Timer)

La instrucción CLRWDT restablece el Watch Dog Timer. Esta instrucción también restablece el pre-escalador del WDT. Los bits TO y PD son puestos a 1.

Ejemplo:

CLRWDT

Antes de la instrucción:
Contador WDT = ?

Después de la instrucción:
Contador WDT = 0x00
Pre-escalador WDT = 0
TO = 1
PD = 1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COMF (Complementa f)

Los contenidos del registro f son complementados. Si d es 0, el resultado es almacenado en W. Si d es 1 el resultado será respaldado en f.

Ejemplo:

COMF REG1, 0

Antes de la instrucción:

REG1 = 0x13

Después de la instrucción:

REG1 = 0x13

W = 0XEC

Tal que:

Antes de complementar:

0001 0011 (0x13)

Después de complementar:

1110 1100 (0xEC)

GOTO (Salto incondicional)

Goto es un salto incondicional. El bit once es un valor cargado dentro de los bits del PC. Los bits más altos del PC son cargados desde el PCLATH. GOTO es una instrucción de 2 ciclos.

Ejemplo:

GOTO INICIO

Después de la instrucción:

PC = Dirección INICIO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DECFSZ (Decrementa f y salta si es cero)

Los contenidos del registro f son decrementados. Si d es 0, el resultado es colocado en el registro W. Si d es 1, el resultado es respaldado en el registro f. Si el resultado es 1, la siguiente instrucción es ejecutada. Si el resultado es 0 entonces se ejecutará un NOP inmediatamente, haciendo que esta instrucción se ejecute en 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

Origen	DECFSZ	CNT, 1
	GOTO	LOOP

CONTINUE

Antes de la instrucción:

PC = Dirección Origen

Después de la instrucción:

CNT = CNT - 1

Si CNT = 0,

PC = Dirección CONTINUE

Si CNT ≠ 0,

PC = Dirección Origen + 1

DECf (Decrementa f)

Decrementa el registro f. Si d es 0 el resultado es almacenado en el registro W. Si d es 1 el resultado es respaldado en el registro f.

Ejemplo:

DECf CNT, 1

Antes de la instrucción:

CNT = 0x01

Z = 0

Después de la instrucción:

CNT = 0x00

Z = 1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INCF (Incrementa f)

Los contenidos del registro f son incrementados. Si d es 0 el resultado será colocado en el registro W. Si d es 1 el resultado será respaldado en el registro f.

Ejemplo:

INCF CNT, 1

Antes de la instrucción:

CNT = 0xFF
Z = 0

Después de la instrucción:

CNT = 0x00
Z = 1

INCFSZ (Incrementa f y salta si es cero)

Los contenidos del registro f son incrementados. Si d es 0 el resultado es colocado en el registro W. Si d es 1 el resultado es respaldado en el registro f.

Si el resultado es 1, la siguiente instrucción es ejecutada. Si el resultado es cero, un NOP se ejecutará inmediatamente, haciendo que la instrucción se ejecute en 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

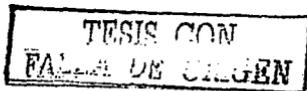
INICIO INCFSZ CNT, 1
 GOTO LOOP
CONTINUE

Antes de la instrucción:

PC = Dirección INICIO

Después de la instrucción:

CNT = CNT + 1
Si CNT = 0,
PC = Dirección CONTINUE
Si CNT ≠ 0,
PC = Dirección INICIO + 1



IORWF (Aplica OR inclusive a W con f)

Si d es 0 el resultado es colocado en el registro W. Si d es 1 el resultado es respaldado en el registro f.

Ejemplo:

IORWF RESULT, 0

Antes de la instrucción:

RESULT = 0x13
W = 0x91

Después de la instrucción:

RESULT = 0x13
W = 0x93
Z = 1

IORLW (Aplica OR inclusive a W con el literal)

A los contenidos del registro W se les aplica OR inclusive con el bit 8 del literal k. El resultado es colocado en el registro W.

Ejemplo:

IORLW 0x35

Antes de la instrucción

W = 0x0A

Después de la instrucción:

W = 0xBF
Z = 1

Tal que:

Antes de OR inclusive:

0011 0101

0000 1010

Después de OR Inclusive:

1011 1111 (0xBF)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MOVLW (Mueve el literal hacia W)

El bit 8 del literal k es cargado dentro del registro W.

Ejemplo:

MOVLW 0x5A

Después de la instrucción:

W = 0x5A

MOVF (Mueve f)

Los contenidos del registro f son movidos a un destino que depende del estado de d. Si d = 0, el destino es el registro W. Si d = 1, el destino es el mismo registro f, cuando d = 1 es útil para analizar el estado del registro de la bandera Z, ya que esta bandera es afectada.

Ejemplo:

MOVF FSR, 0

Después de la instrucción:

W = El valor en el registro FSR

Z = 1

NOP (No Operación)

No realiza operaciones, es un tiempo perdido dentro de la corrida del programa, útil para esperar a que una instrucción que requiera precisión se lleve en el tiempo necesario.

Ejemplo:

NOP

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MOVWF (Mueve W hacia f)

Mueve los datos desde el registro W hasta el registro f.

Ejemplo:

MOVWF OPTION_REG

Antes de la instrucción:

OPTION_REG = 0xFF
W = 0x4F

Después de la instrucción:

OPTION_REG = 0x4F
W = 0x4F

RETFIE (Regresa de la interrupción)

Retorna de la interrupción. La pila de memoria es POPeada y se carga el primer dato de la parte superior de la pila (TOS) en el PC. Las interrupciones son habilitadas al colocar un Bit de Interrupción Global (GIE). Esta es una instrucción de 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

RETFIE

Después de la interrupción:

PC = TOS
GIE = 1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RETLW (Regresa con el valor literal en W)

El registro W es cargado con el bit 8 del literal k. El contador de programa es cargado desde la parte alta de la pila de memoria (el retorno de la dirección) Esta es una instrucción de 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

```
CALL    TABLE; W contiene la tabla
        ;desplazamiento del valor
        ; W tiene el valor de la tabla
```

```
TABLE
ADDWF   PC; W = Desplazamiento
RETLW   k1; inicia tabla
RETLW   k2;
RETLW   kn; fin de la tabla
```

Antes de la instrucción:
W = 0x07

Después de la instrucción:
W = valor de k8

RLF (Rotar f hacia la izquierda por acarreo)

Los contenidos del registro f son rotados un bit hacia la izquierda a través de la bandera de Carry. Si d es 0 el resultado es colocado en el registro W. Si de es 1 el resultado respaldado en el registro f.

Ejemplo:

```
RLF    REG1, 0
```

Antes de la instrucción:

```
REG1   =    1110 0110
C      =    0
```

Después de la instrucción:

```
REG1   =    1110 0110
W      =    1100 1100
C      =    1
```

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RETURN (Regresa de la subrutina)

Retorna de la interrupción. La pila de memoria es POPeada y se carga el primer dato de la parte superior de la pila (TOS) en el PC (Contador de Programa). Esta es una instrucción de 2 ciclos de reloj.

Ejemplo:

RETURN

Después de la interrupción:

PC = TOS

RRF (Rotar f hacia la derecha por acarreo)

Los contenidos del registro f son rotados un bit hacia la derecha a través de la bandera de Carry. Si d es 0 el resultado es colocado en el registro W. Si d es 1 el resultado respaldado en el registro f.

Ejemplo:

RF REG1, 1

Antes de la instrucción:

REG1	=	1110 0110
C	=	0

Después de la instrucción:

REG1	=	1110 0110
W	=	0111 0011
C	=	0

SLEEP (Activa el modo de Stand By)

El bit de estado de baja alimentación (PD), es borrado. El bit de estado de Tiempo Fuera (TO), es ajustado. El Watchdog Timer y el pre-escalador son borrados. El procesador es puesto a dormir (en SLEEP) con el oscilador parado.

Ejemplo:

SLEEP

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SWAPF (Swapa los nibbles en f)

Los nibbles superiores e inferiores del registro f son intercambiados: Si d es 0 el resultado es colocado en el registro W. Si d es 1 el resultado es colocado en el registro f.

Ejemplo:

SWAPF REG, 0

Antes de la instrucción:

REG1 = 0XA5

Después de la instrucción:

REG1 = 0XA5

W = 0x5A

XORLW (Aplica OR exclusiva a W con el literal)

A los contenidos del registro W se le aplica XOR con el bit 8 del literal k. El resultado es colocado en el registro W.

Ejemplo:

XORLW 0XAF

Antes de la instrucción:

W = 0xB5

Después de la instrucción:

W = 0x1A

Tal que:

1010 1111
XOR 1011 0101

Resp. 0001 1010 (0x1A)

XORWF (Aplica OR exclusiva a W con f)

A los contenidos del registro W se les aplica XOR con el registro f. Si d es 0 el resultado es almacenado en el registro W. Si d es 1 el resultado es respaldado en el registro f.

Ejemplo:

XORWF REG 1

Antes de la instrucción:

REG = 0XAF
W = 0xB5

Después de la instrucción:

REG = 0x1A
W = 0xB5

SUBLW (Subtrae W del literal)

El registro W es sustraído desde el bit 8 del literal k. El resultado es colocado en el registro W.

Ejemplo 1:

SUBLW 0x02

Antes de la instrucción:

W = 1
C = ?
Z = ?

Después de la instrucción:

W = 1
C = 1; el resultado es positivo
Z = 0

Ejemplo 2:

Antes de la instrucción:

W = 2
C = ?
Z = ?

Después de la instrucción:

W = 0
C = 1; el resultado es cero
Z = 1

Ejemplo 3:

Antes de la instrucción:

W = 3
C = ?
Z = ?

Después de la instrucción:

W = 0xFF
C = 0; el resultado es negativo
Z = 0

SUBWF (Subtrae W desde f)

Subtrae el registro W desde el registro f. Si d es 0 el resultado es almacenado en el registro W. Si d es 1 el resultado es respaldado en el registro f.

Ejemplo 1:

SUBWF REG1, 1

Antes de la instrucción:

REG1 = 3
W = 2
C = ?
Z = ?

Después de la instrucción:

REG1 = 1
W = 2
C = 1; el resultado es positivo
Z = 0

Ejemplo 2:

Antes de la instrucción:

REG1 = 2
W = 2
C = ?
Z = ?

Después de la instrucción:

REG1 = 0
W = 2
C = 1; el resultado es cero
Z = 1

Ejemplo 3:

Antes de la instrucción:

REG1 = 1
W = 2
C = ?
Z = ?

Después de la instrucción:

REG1 = 0XFF
W = 2
C = 0; el resultado es negativo
Z = 0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LAS INSTRUCCIONES

Las instrucciones descritas en el subtema 3.1.3, son las indispensables para la realización de la toma de decisiones a nivel control del componente, en si, son las que determinan el algoritmo de control del sistema, es necesario conocer estas instrucciones tan sencillas para poder posteriormente entender el programa que será el encargado de llevar a cabo el algoritmo de control del controlador de cargas fotovoltaico.

El microcontrolador no solo requiere de estas instrucciones para su operación, también requiere de registros especiales que el CPU y los módulos periféricos del microcontrolador utilizan para controlar la operación deseada del microcontrolador y, que en el capítulo respectivo al algoritmo del programa del controlador fotovoltaico se explicará la función específica de este tipo de registros

Explicaremos algunos rasgos especiales que se utilizan en la descripción de las instrucciones, esto es con el fin de que sea más entendible el código de programación del microcontrolador.

En la mayoría de las instrucciones se representan funciones lógicas muy simples, las cuales van desde cambiar un 1 por un cero, hasta realizar operaciones con compuertas (AND, XOR, etc.). Es necesario notar que debido a que el microcontrolador que se empleará en el diseño de controlador de cargas fotovoltaico es un componente de 8 bits (PIC16C711), requiere manejar datos de 8 bits de la siguiente manera:

1. Los datos de 8 bits se manejarán en grupos de 4 bits para cada segmento de memoria ROM.
2. El orden de los bits se maneja de la siguiente forma: el bit más significativo se halla a la izquierda y el menos significativo a la derecha.

El microcontrolador se puede programar en código binario, hexadecimal u octal. En hexadecimal el dato se dará con la siguiente sintaxis: 0xnn; en binario la sintaxis es: b 'nn' y finalmente en octal la sintaxis es: o 'nn'.

CAPITULO 4.- DISEÑO DE LOS MÓDULOS E / S PARA EL CONTROLADOR

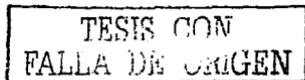
Es importante para el diseño de los módulos que se deben conectar en la entrada y salida del controlador de cargas fotovoltaico, tener claro que cada uno tiene una función determinante dentro del circuito (como en cualquier sistema electrónico). Para facilitar el diseño, este se va a dividir en 5 módulos o etapas fundamentales dentro del mismo controlador, los cuales son:

1. Etapa sensora / transductora (módulo de entrada).
2. Etapa reguladora de voltaje
3. Etapa lógica / comparadora (módulo lógico).
4. Etapa actuadora (módulo de salida).
5. Etapa de protección del controlador fotovoltaico.

Cada una de estas etapas tienen funciones determinantes dentro del circuito controlador fotovoltaico, donde la etapa de protección contra ruidos ambientales, no es una etapa determinante, ya que con o sin ella el sistema funciona, porque con ruidos puede funcionar bajo un ambiente controlado, mientras que si alguna de las 4 primeras etapas no estuviese activa, el controlador fotovoltaico no trabajaría.

Antes de proceder al diseño de los módulos y los circuitos indicadores y de protección (la etapa de protección la daremos al final del capítulo), que integran al controlador fotovoltaico, cabe citar que es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos para el diseño del controlador fotovoltaico y de cualquier circuito electrónico:

- a) Análisis de los parámetros que se desean controlar.
- b) Planteamiento de las hipótesis que conlleven a obtener resultados satisfactorios ante fenómenos inesperados del sistema a controlar para evitar falla.
- c) El apoyo de manuales técnicos para seleccionar los componentes electrónicos idóneos para el diseño.
- d) Determinación y aplicación de pruebas funcionales para comprobar el buen funcionamiento de cada una de las etapas que integran al sistema.



4.1 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

El controlador de cargas fotovoltaico está constituido de un microcontrolador marca MICROCHIP modelo PIC16C711-04P. El microcontrolador maneja dos de sus cuatro canales analógicos para monitorear de manera permanente los voltajes de la batería, y del módulo fotovoltaico, con objeto de conectar o desconectar el módulo a la batería o la batería a la carga, de acuerdo a los puntos de comparación que se le programe al microcontrolador. Hay que citar que por lo general no se puede permitir que el usuario siga utilizando energía de las baterías de 12V cuando éstas ya se hallan en el rango de los 11.8 volts. Sin embargo, en algunos casos de fuerza mayor se requiere seguir utilizando energía por debajo de los 11.8 volts, para lo cual se debe habilitar al sistema con un interruptor de emergencia, para no sacrificar la vida útil de la batería; en estos casos la desconexión de la batería se lleva a cabo a un voltaje de 11.0 volts

Un punto muy importante que debe tenerse en consideración al empezar con el diseño es que existen normas concernientes al ahorro de energía, de tal forma que la Comisión Federal de Electricidad establece que "todos los controladores que sean utilizados en licitaciones públicas deberán tener un auto consumo mínimo de 93 mA". Por lo cual es recomendable utilizar en el diseño de los controladores fotovoltaicos componentes electrónicos de estado sólido que funcionen como manejadores de módulo y batería.

Otra norma establecida por Comisión Federal de Electricidad indica que el controlador fotovoltaico que se vaya a licitar debe contemplar una protección de sobre voltaje, la cual opera al llegar a los 33 volts.

El controlador fotovoltaico debe ser capaz de soportar cargas que demanden 20 amperes de corriente directa y controlar niveles de voltajes que van desde los 11.8 V hasta los 14.7. Los niveles de voltaje que se manejan superiores a los 12 volts tienen la finalidad de cargar a la batería de respaldo, pues dichos valores son los recomendados para una carga adecuada de las baterías, ya sean selladas o semi - selladas.

4.2. DISEÑO DE LA ETAPA SENSORA / TRANSDUCTORA

Para llevar a cabo el control del sistema fotovoltaico debemos tener en cuenta que es necesario tener bajo observación constante los cambios eléctricos que se presentan en el sistema a controlar, estos parámetros no son otra cosa que corrientes y voltajes que circulan por el sistema. La etapa sensora del controlador fotovoltaico debe ser capaz de indicarnos los niveles de voltaje que están presentes en los bornes de la batería y en las terminales del panel fotovoltaico.

La etapa sensora es alimentada por el módulo de entrada, el cual se halla basado en dos simples divisores de voltaje, uno de ellos debe ir hacia el borne positivo de la batería y el otro hacia la terminal positiva del módulo fotovoltaico. Los valores que se adquieran del divisor de voltaje deben ser enviados a las terminales del microcontrolador, para lo cual se habilita la terminal RA0/AN0 para el control del panel fotovoltaico y la terminal RA1/AN1 para el control de la batería.

Antes de continuar, es necesario aclarar que el sistema fotovoltaico se puede componer de más de un panel y más de una batería, hay que considerar que en este diseño se piensa demandar una corriente de 20 amperes. De tal forma que si se usa una batería de 10 amperes / hora, se requerirá de 3 baterías conectadas en paralelo. La capacidad de voltaje que entrega un panel sin carga es por lo regular de 20 volts y de 15 volts ya con carga, mientras que la corriente es de hasta 30 amperes. Todos estos valores del panel varían de acuerdo a la intensidad luminosa de sol que exista en ese momento.

Debido a que el módulo de entrada entrega voltajes en unidades analógicas será necesario utilizar el convertidor analógico - digital que viene integrado dentro del microcontrolador PIC16C711-04P para convertirlos a digitales, dicho convertidor es de 8 bits de muestreo y cuenta con 4 canales de entrada: RA0/AN0, RA1/AN1, RA2/AN2 y RA3/AN3.

Por lo anterior, el diseño del módulo requiere de una resolución de 8 bits y la señal analógica será convertida a un valor binario de 256 muestras; utilizando un voltaje de referencia de 5 volts de corriente directa. En este punto cabe aclarar que el voltaje de referencia debe tener la cualidad de ser constante en lo mayor posible, de tal forma que aunque nuestro sistema opere y controle voltajes del orden de los 11 volts hasta los 14.7 volts en corriente directa, se requiere del voltaje de referencia para que opere el convertidor A/D, este voltaje se tomará de un regulador de voltaje de 5 Volts (LM7805CT). A partir de este momento se irán justificando uno a uno los componentes que se necesitarán para el diseño del circuito completo que conforma al controlador de cargas fotovoltaico.

4.2.1 ECUACIONES DEL DISEÑO

El convertidor A/D debe operar con el mismo voltaje de alimentación del microcontrolador PIC16C711-04P y el rango de voltaje soportado en ambos casos va de 2.5 V hasta 6.0 V de C.D. Las ecuaciones que se requieren para el diseño son las de un divisor de voltaje y del convertidor A/D.

El divisor de voltaje está compuesto por R1, R2, V y un punto común (tierra), como se observa en la figura 4.1.

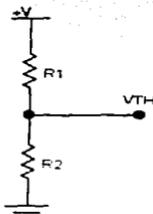


Figura 4.1 A partir de este diagrama eléctrico se obtiene la ecuación de Thévenin, a partir de la cual se obtendrán los valores necesarios de las resistencias R1 y R2.

A partir de la figura 4.1 obtendremos un voltaje de Thévenin (V_{TH}), el cual es el que se estará sensando y convirtiendo de analógico a digital por el convertidor interno del microcontrolador, de tal forma que las ecuaciones que se emplean son las siguientes:

$$V_{TH} = (V \cdot R2) / (R1 + R2) \quad 4.1$$

$$VAL = V_{TH} / \text{cuanto} \quad 4.2$$

Donde:

VAL.- valor decimal que se debe programar en el microcontrolador PIC16C711-04P en código hexadecimal.

V_{TH} .- voltaje de Thévenin.

V.- voltaje sentido a la entrada del divisor de voltaje y con el cual se llevará a cabo el control del sistema fotovoltaico.

cuanto.- ecuación del convertidor A/D

R1 y R2.- resistencias utilizadas para conformar el divisor de voltaje.

Cuanto = $V_{ref} / 256$ = Ecuación del convertidor A/D del PIC16C711

V_{ref} = 5 voltios que se obtienen del regulador de voltaje.

Nota: El voltaje V es variable y se tomará de la batería del sistema.

Una vez obtenidas las ecuaciones anteriores, procederemos a obtener los valores necesarios para las resistencias R1 y R2. Los valores de las resistencias R1 y R2 se determinan de forma que el resultado que se obtenga no exceda 8 bits, ya que el microcontrolador que se utiliza en este proyecto (PIC16C711-04P) maneja solamente datos de 8 bits. En este caso las resistencias que se utilizan para conformar el divisor de voltaje se pueden deducir eligiendo un valor comercial para R2 y R1 se obtiene despejándola de la ecuación 4.1, es decir:

$$R1 = (R2 * (V - V_{TH})) / V_{TH} \quad 4.3$$

Se supondrá un valor comercial para R2 = 1K Ω y el voltaje V = 15V; el valor de R2 se tomó arbitrariamente, además debido a que se requiere que el sistema sea lo más preciso posible, el V_{TH} será lo más cercano posible al voltaje mínimo de activación del microcontrolador PIC16C711 (2.5 hasta 6V). El voltaje de 15V es el valor máximo de voltaje registrado en el panel y la batería del sistema fotovoltaico.

Una vez aclarado lo anterior, procederemos a iterar V_{TH} en la ecuación 4.3 hasta obtener un valor comercial en R1 o cuando menos un valor lo más cercano posible a un valor comercial, sin tener que recurrir a arreglos de resistencias en serie o en paralelo, ya que la ecuación de Thévenin se vería afectada.

Sustituyendo valores para V_{TH} en la ecuación 4.3.

Si $V_{TH} = 2.5$ tenemos que:

$$R1 = ((15-2.5)*1000)/2.5 = 5000 \text{ K}\Omega$$

Si $V_{TH} = 2.6$ tenemos que:

$$R1 = ((15-2.6)*1000)/2.6 = 4.769 \text{ K}\Omega$$

Si $V_{TH} = 2.7$ tenemos que:

$$R1 = ((15-2.7)*1000)/2.7 = 4.55 \text{ K}\Omega$$

El valor $R1 = 4.769 \text{ K}\Omega$ se aproxima al valor comercial de $4.7 \text{ K}\Omega$, por lo tanto ese es el valor de la resistencia que se utilizará para conformar el arreglo del divisor de voltaje. Para comprobar que este es el valor de la resistencia que necesitamos sustituiremos los valores tanto de las resistencias como de los voltajes en la ecuación 4.2 y posteriormente el valor que se obtenga se convertirá a código hexadecimal, de tal forma que el valor obtenido no exceda de 8 bits:

Sustituyendo valores en la ecuación 4.2:

$$\text{VAL} = 2.6 / (5/256)$$

$$\text{VAL} = 134.7368$$

Convertiremos el valor obtenido teniendo en cuenta que para códigos binarios, octales o hexadecimales no se manejan puntos decimales y tampoco se redondea, aún cuando el número a la derecha del punto decimal fuera X.9999, de tal forma que respetando este principio, el valor a convertir es solamente 134.

De tal forma que el valor que se obtiene con el voltaje máximo al cual trabajará el sistema fotovoltaico (15V) en hexadecimal es **86H**. A partir de este momento se utilizará como sufijo el literal **H** para indicar que el valor que se está escribiendo está en hexadecimal, esto de acuerdo a la nomenclatura utilizada para programar el microcontrolador PIC16C711-04P. Habiendo aclarado lo anterior, quedó demostrado con la Ecuación 4.2 que aún al tener el voltaje máximo de 15V de corriente directa en el sistema, jamás se llegará a rebasar el límite de los 8 bits.

El valor **86H** se obtiene convirtiendo en código hexadecimal el valor decimal 134, la conversión de código decimal a hexadecimal se realiza partiendo del principio de que el código hexadecimal es un código alfanumérico de base 16, de tal forma que todo valor decimal que se desea convertir a hexadecimal, debe ser dividido entre 16 a fin de obtener un valor numérico que si se compone de una parte fraccionaria, solamente la parte entera se considerará como parte del código hexadecimal, la parte fraccionaria se multiplicará por 16 y el valor obtenido será un número entero, el cual será la otra parte que compondrá a nuestro código hexadecimal de 2 cifras. A continuación obtendremos los valores decimales que se requerirán para programar el microcontrolador, y partiendo de dichos valores se obtendrán los correspondientes valores en código hexadecimal:

Empleando la ecuación 4.2:

Obtención del voltaje al cual se conectará el panel fotovoltaico a la batería

a) Encendido de módulo (MODON) = 11.4V:

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((11.4 * 1000) / 5700) / (5/256) = 102.4$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

$$102 / 16 = 6.375 \quad (\text{se tomará solamente la parte entera})$$

$$0.375 * 16 = 6 \quad (\text{se multiplica la parte fraccionaria con 16})$$

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 102 decimal es **66H**

Obtención del valor de voltaje para gasificar el electrolito en la batería

b) Gaseo con módulo (MODGAS) = 15

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((15 * 1000) / 5700) / (5/256) = 134.7$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

$$134 / 16 = 8.375 \quad (\text{se tomará solamente la parte entera})$$

$$0.375 * 16 = 6 \quad (\text{se multiplica la parte fraccionaria con 16})$$

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 134 decimal es **86H**

Obtención del voltaje al cual se desconectará el panel fotovoltaico de la batería

c) Apagado de módulo (MODOF) = 13.5V:

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((13.5 * 1000) / 5700) / (5/256) = 121.2$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

$$121 / 16 = 7.5625 \quad (\text{se tomará solamente la parte entera})$$

$$0.5625 * 16 = 9 \quad (\text{se multiplica la parte fraccionaria con 16})$$

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 121 decimal es **79H**

Obtención del voltaje al cual se reconectará el panel fotovoltaico a la batería
d) Reconexión de módulo (MODRC) = 13.2V:

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((13.2 * 1000) / 5700) / (5/256) = 118.5$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

$$118 / 16 = 7.375 \quad (\text{se tomará solamente la parte entera})$$

$$0.375 * 16 = 6 \quad (\text{se multiplica la parte fraccionaria con 16})$$

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 118 decimal es **76H**

Valor de voltaje que permitirá saber si es de día

e) Presencia de luz solar (LUZON) = 1.4V:

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((1.4 * 1000) / 5700) / (5/256) = 12.5$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

Como en este caso 12 está dentro de los límites de la base 16, solamente se le representa con su valor alfanumérico correspondiente el cual es **0CH**

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 12 decimal es **0CH**

Valor de voltaje que permitirá saber si es de noche

f) Ausencia de luz solar (LUZOF) = 2.5V:

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((2.5 * 1000) / 5700) / (5/256) = 22.4$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

$$22 / 16 = 1.375 \quad (\text{se tomará solamente la parte entera})$$

$$0.375 * 16 = 6 \quad (\text{se multiplica la parte fraccionaria con 16})$$

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 22 decimal es **16H**

Valor de voltaje que indica que la batería está cargada

g) Batería cargada (BATON) = 13.2V:

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((13.2 * 1000) / 5700) / (5/256) = 118.5$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

$$118 / 16 = 7.375 \quad (\text{se tomará solamente la parte entera})$$

$$0.375 * 16 = 6 \quad (\text{se multiplica la parte fraccionaria con 16})$$

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 118 decimal es **76H**

Valor de voltaje que indica que la batería está descargada

h) Batería descargada (BATOF) = 11V:

Su valor decimal se obtiene de:

$$VAL = ((11 * 1000) / 5700) / (5/256) = 98.8$$

Convirtiendo el valor entero en código hexadecimal:

$$98 / 16 = 6.125 \quad (\text{se tomará solamente la parte entera})$$

$$0.125 * 16 = 2 \quad (\text{se multiplica la parte fraccionaria con 16})$$

Por lo tanto el código hexadecimal correspondiente a 98 decimal es **62H**

Una vez establecidos los valores que se requerirán para la operación del microcontrolador, se obtendrá la tabla 4.1 con dichos valores para su más rápida visualización:

Tabla 4.1 Valores a programar en el microcontrolador PIC16C711-04P

PARAMETROS OPERACIÓN			
ID	Voltios	Decimal	Hexadecimal
MODON	11.4	102	66H
MODGAS	15	134	86H
MODOF	13.5	121	79H
MODRC	13.2	118	76H
LUZON	2.5	22	16H
LUZOF	1.4	12	0CH
BATON	13.2	118	76H
BATOF	11	98	62H

4.3 DISEÑO DE LA ETAPA REGULADORA DE VOLTAJE

La etapa de regulación de voltaje se incluye dentro del módulo de entrada por la razón que de aquí se toma el voltaje de alimentación del microcontrolador, el cual es el encargado de la toma de decisiones del circuito del controlador de cargas fotovoltaico. Sin una etapa de regulación no se podría activar la etapa lógica y de nada serviría el resto de las etapas sin un voltaje estable y de alimentación de 5 V_{CD}.

Esta es posiblemente la etapa más sencilla del controlador de cargas fotovoltaico, pero es una etapa tan importante como las demás, sobre todo porque de aquí se obtendrá la fuente de alimentación del microcontrolador PIC16C711-04P. Esta etapa se compone básicamente de un regulador de voltaje LM7805CT, el cual requiere de protección contra ruidos para mantener estable el voltaje a la salida del regulador, esta parte la analizaremos en la etapa correspondiente a la protección contra ruido que lleva integrada el controlador de cargas fotovoltaico.

La elección del regulador de voltaje radica en la funcionalidad que se obtendrá de este y las condiciones eléctricas a las cuales operará, de tal forma que en nuestro caso el regulador debe ser capaz de soportar un voltaje de entrada de 15 voltios como máximo y un voltaje de 11 voltios como mínimo, en cuanto a voltaje se refiere. En cuanto a corrientes se refiere, el dispositivo regulador de voltaje irá conectado a las baterías y la carga conectada al regulador de voltaje debe ser analizada para deducir la cantidad de corriente que circulará como máximo a través del regulador de voltaje, de esta forma se podrá elegir el dispositivo regulador más adecuado a las necesidades del sistema a alimentar con 5 voltios de corriente directa. Este análisis lo explicaremos más adelante, por lo pronto continuando con los valores de voltajes, explicaremos que el regulador se eligió de 5 voltios por ser simplemente un valor comercial muy común y de bajo costo, pues aunque el microcontrolador puede operar hasta con 2.5 voltios de corriente directa, los reguladores de este tipo son más costosos y difícilmente soportan corrientes de más de 0.5 A, por otra parte entre más pequeño sea el voltaje de alimentación, más fácilmente el sistema electrónico digital se puede ver afectado por ruido ambiental.

El regulador LM7805CT es un regulador de voltaje fijo de 5 voltios de corriente directa y de voltaje positivo, soporta hasta 35 voltios de corriente directa a la entrada y opera con corrientes de hasta 1 amper, el tipo de encapsulado de este dispositivo es TO-220. A continuación se anexa la hoja técnica de este dispositivo, a partir de la cual analizaremos los parámetros más importantes a considerar cuando se selecciona un componente de este tipo (Tabla 4.2).

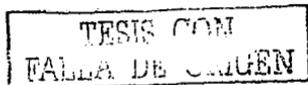


Tabla 4.2 Características eléctricas del regulador LM7805CT

L7800

ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR L7805 (refer to the test circuit, $T_c = -55$ to 150°C , $V_i = 10\text{V}$, $I_o = 500\text{ mA}$, $C_1 = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_2 = 0.1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_o	Output Voltage	$T_c = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_o	Output Voltage	$I_o = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$ $P_o < 15\text{ W}$ $V_i = 8\text{ to } 20\text{ V}$	4.65	5	5.35	V
ΔV_o	Line Regulation	$V_i = 7\text{ to } 25\text{ V}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$ $V_o = 8\text{ to } 12\text{ V}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$		3	50	mV
ΔV_o	Load Regulation	$I_o = 5\text{ to } 1800\text{ mA}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$ $I_o = 250\text{ to } 750\text{ mA}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$		1	25	mV
I_q	Quiescent Current	$T_c = 25^\circ\text{C}$			100	mV
ΔI_q	Quiescent Current Change	$I_o = 5\text{ to } 1000\text{ mA}$			0.5	mA
ΔI_q	Quiescent Current Change	$V_i = 8\text{ to } 25\text{ V}$			0.8	mA
$\frac{\Delta V_o}{\Delta T}$	Output Voltage Drift	$I_o = 5\text{ mA}$		0.6		mV/°C
en	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to } 1000\text{ Hz}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V/V}_o$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_i = 8\text{ to } 18\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	68			dB
V_{ce}	Dropout Voltage	$I_o = 1\text{ A}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_o	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_i = 35\text{ V}$ $T_c = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_c = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

El dato de interés para nosotros es que mantenga un voltaje de salida $V_o =$ de 5 V_{CE0} en condiciones de voltaje de entrada (V_i) de hasta 15 V_{CE0} (entre la batería y el panel) y este componente (LM7805CT) soporta un $V_i = 35\text{ V C.D.}$ como máximo. Debido a que el dispositivo va conectado a las baterías del sistema fotovoltaico, se requiere que dicho componente soporte cuando menos 1 ampere de C.D. que es la corriente que puede llegar a presentarse al momento de conectar el controlador de cargas fotovoltaico por primera vez a las baterías. Es necesario considerar también los límites de temperatura a los cuales opera el regulador de voltaje ya que esto influye en el comportamiento de cualquier dispositivo, sobre todo en este tipo de dispositivo que es un componente activo, de tal forma que la temperatura recomendada en la tabla anterior nos indica una temperatura ambiente de operación a 25°C , si este parámetro de temperatura llegara a cambiar, obviamente los resultados entregados por parte del regulador de voltaje en lo referente a características funcionales eléctricas variará.

Es importante tomar en cuenta el comportamiento del regulador, pues se presentarán diferentes condiciones ambientales durante su operación, las variaciones ambientales traerán como consecuencia cambios en las respuestas proporcionadas por el regulador, o bien, puede ser que el dispositivo no opere adecuadamente en las condiciones que el diseño requiere. De tal forma que de acuerdo a la temperatura estándar de 25°C, el LM7805CT puede operar sin grandes variaciones, con temperaturas que van de los - 10 °C hasta los 50 °C sin mayor problema, ahora bien la corriente que circulará por este regulador de voltaje no excederá 1 ampere, pero tampoco será una corriente mínima de 0.5 amperes. De tal forma que el encapsulado TO-220 es el más ideal para la disipación adecuada de la temperatura que será disipada por el componente. La unión del componente puede llegar a dañarse si se excede la temperatura indicada como máximo en el componente (75 °C), esta temperatura se puede exceder por 2 causas: temperatura ambiente excesiva y la corriente máxima de operación indicada por el fabricante (en este caso es de 1 A).

El regulador LM7805CT se encuentra en 3 diferentes tipos de encapsulados:

1. TO-220 e ISOWATT220
2. TO-3
3. D²PAK

Se elige el encapsulado TO-220 en este diseño del controlador fotovoltaico, pero también se pudo haber elegido el ISOWATT220. El encapsulado ISOWATT220 es físicamente similar al encapsulado TO-220, sólo que el ISOWATT220 está completamente cubierto por plástico, lo cual facilita colocar al componente sobre un disipador sin necesidad de utilizar mica aislante entre el componente y el disipador.

Debido a que no se requerirá de disipador pues no se tendrá el amperio circulando por el componente ya que solamente alimentará al microcontrolador y algunas resistencias, no es necesaria pensar en un componente mejor protegido y más costoso como lo es el encapsulado ISOWATT220. Los otros 2 encapsulados (TO-3 y D²PAK) no son factibles en este diseño, en el caso del encapsulado TO-3 sus dimensiones son mayores que las del TO-220, lo cual trae como ventaja una mejor área de disipación del cuerpo del dispositivo, pero como no se tendrá una corriente de 1 amperio constante y la circuitería circundante no genera mucha temperatura, no es necesario un cuerpo de dispositivo tan prominente. Para el caso del encapsulado D²PAK, este es más que nada del tipo SMT y si se piensa utilizar un circuito impreso con componentes soldados por inserción, como es el caso de controlador fotovoltaico que se tiene pensado diseñar, este componente no es factible de utilizarse en este circuito.

A continuación se muestra en la figura 4.2 las figuras representativas de los encapsulados en que se puede encontrar el regulador de voltaje LM7805CT:

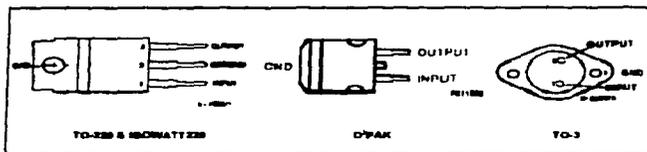


Figura 4.2 Formas físicas en que se puede hallar en el mercado al regulador LM7805CT

El regulador de voltaje LM7805CT requiere de ciertas configuraciones específicas para su óptimo funcionamiento, estos arreglos (proporcionados por el fabricante) se componen básicamente de filtros que impiden la entrada y salida de ruido en el regulador. A continuación se muestra en la figura 4.3 la configuración utilizada en el diseño del controlador automático de voltaje.

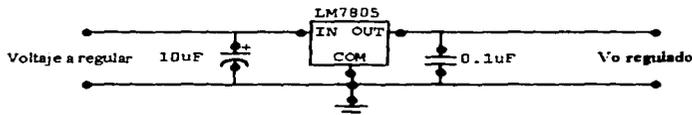


Figura 4.3 Configuración utilizada para aplicarse en el controlador fotovoltaico

La configuración mostrada en la figura 4.3 es proporcionada por el fabricante del regulador, no solo se cuenta con este tipo de configuración, existen otras 2 configuraciones, las cuales se utilizan para casos específicos como lo es el eliminar rizados y regular la carga con ayuda de un transistor TBJ a la salida del regulador. En nuestro caso, la configuración utilizada se le denomina de "Parámetros para C.D.", dicha configuración nos mantiene un voltaje fijo a la salida de $5 V_{CD}$, independientemente de que a la entrada existan variaciones de voltaje por arriba del valor de los $5 V_{CD}$.

El regulador debe ser capaz de cumplir su función reguladora sin necesidad de los capacitores que se colocan tanto a la entrada como a la salida del mismo, la función de los capacitores es únicamente la de eliminar ruidos que se puedan presentar tanto a la entrada como a la salida del regulador, ya que este tipo de componentes por ser de tecnología TTL se componen básicamente de transistores, no cuentan con alta impedancia a la entrada y a la salida, con lo cual se eliminaría cualquier ruido existente en el sistema, por otra parte al tener impedancias altas a la entrada y a la salida, dificultarían la acción reguladora del componente, pues además de atenuarse el ruido, también se atenuaría el voltaje que se entrega a la carga.

La etapa de regulación de voltaje se incluye dentro del módulo de entrada por la razón que de aquí se toma el voltaje de alimentación del microcontrolador, el cual es el encargado de la toma de decisiones del circuito del controlador de cargas fotovoltaico. Sin una etapa de regulación no se podría activar la etapa lógica y de nada serviría el resto de las etapas sin un voltaje estable y de alimentación de $5 V_{CD}$.

4.4 DISEÑO DE LA ETAPA LÓGICA/COMPARADORA

Otra etapa importante del diseño es ésta y físicamente resulta muy fácil de implementar ya que únicamente se requieren de algunos arreglos periféricos recomendados por el fabricante para la óptima funcionalidad del microcontrolador. Esta etapa se compone básicamente del microcontrolador PIC16C711-04P y los arreglos que se requieren son solamente 2:

1. Circuito de restablecimiento externo en la alimentación.
2. Circuito oscilador externo.

Ambos circuitos cumplen una función específica, la cual da como resultado la operación adecuada del microcontrolador PIC16C711-04P, a continuación se describen las características y función de cada uno de dichos circuitos.

4.4.1 CIRCUITO DE RESTABLECIMIENTO EXTERNO EN LA ALIMENTACIÓN

Este circuito cumple la función de proteger al microcontrolador contra picos de voltaje que se pudieran presentar al conectar el circuito a la alimentación de voltaje V_e , este circuito debe estar conectado en la terminal del microcontrolador identificada como MCR (Master Clear Reset). En el capítulo dedicado al microcontrolador, se explica la arquitectura y distribución de las terminales de este dispositivo. A continuación, en la figura 4.4 se muestra la configuración utilizada para el restablecimiento externo, misma que es recomendada por el fabricante del microcontrolador.

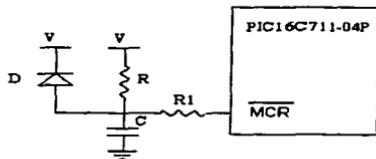


Figura 4.4 Configuración del circuito de restablecimiento utilizado en el controlador de cargas fotovoltaico

Partiendo de la figura anterior, citaremos los valores de los componentes que se utilizan para el arreglo correspondiente al circuito de restablecimiento externo en la alimentación, los parámetros necesarios para la elección de los valores adecuados de los componentes nos los proporciona el fabricante con las siguientes notas:

1. El diodo **D** ayuda a descargar el capacitor instantáneamente cuando el voltaje **V_o** es suspendido.
2. Se debe cumplir la siguiente condición para la elección del valor de la resistencia **R**: $R < 40 \text{ K}\Omega$, esto asegura que el voltaje que cruza a través de **R** no violará las especificaciones eléctricas de operación del microcontrolador.
3. El valor de **R1** debe oscilar entre el siguiente rango: $R1 = 100 \Omega$ hasta $1 \text{ K}\Omega$, con lo cual se limita el flujo de cualquier corriente que se pudiera presentar al descargarse el capacitor **C** al presentarse una carga electrostática.

Partiendo de los datos proporcionados por el fabricante del microcontrolador, se elegirán los siguientes componentes:

$$R = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R1 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$C = 0.1 \mu\text{F a } 50 \text{ V}$$

$$D = 1\text{N}4001$$

En los casos del diodo y del capacitor el fabricante no especifica valores o nomenclaturas recomendadas, sin embargo, por cuestiones de diseño en sistemas digitales es recomendable utilizar capacitores de cerámicos de entre $0.01 \mu\text{F}$ hasta $0.1 \mu\text{F}$, o bien, capacitores electrolíticos de cuyos valores oscilen entre $1 \mu\text{F}$ hasta $10 \mu\text{F}$ (en algunos casos se utilizan valores más altos), ya que este componente tendrá la función de filtro. El voltaje que debe soportar todo componente debe ser un 30% mayor al de la alimentación del circuito, en el caso del capacitor cerámico que es el que se eligió, los voltajes que este soporta y que no afecta al tamaño del cuerpo del capacitor, son los valores de voltaje de fabricante de 50V y 100 V.

En el caso del diodo **D**, tampoco se especifica un dato en específico que nos ayude a determinar el diodo adecuado a ser utilizado, pero se sabe que el diodo servirá para proteger un dispositivo digital de bajo consumo de energía, el cual opera con $5 V_{CD}$ y que además ese es el mismo valor de V_O .

Partiendo de los conceptos citados para la operación del microcontrolador, se deduce que el diodo que se requiere utilizar puede ser de bajo consumo, de los conocidos como diodos rectificadores de $\frac{1}{2} W$, incluso puede no ser rectificador, hasta un diodo de radiofrecuencia funcionaría, pero si no se van a manejar señales de radiofrecuencia, no tiene ningún caso utilizar un diodo de tal magnitud para utilizarlo sólo como protección contra descargas electrostáticas, a menos que por costos sea factible su utilización, caso contrario se utilizará un diodo rectificador. El diodo elegido es el diodo 1N4004 y puede ser elegido desde el 1N4001 hasta el 1N4007, pues ambos soportan una corriente de 1 amperio y voltaje de operación que va desde los 50 V hasta los 1000 V.

4.4.2 CIRCUITO OSCILADOR EXTERNO

El circuito que vamos a describir tiene la única función de proporcionar la frecuencia de operación a la cual trabajará el microcontrolador. Antes de proseguir, cabe aclarar que el microcontrolador PIC 16C711 es capaz de operar con diferentes tipos de oscilador. Los tipos de oscilador que soporta este microcontrolador ya se describieron en el capítulo 2 y como se recordará son 4 tipos de oscilador:

+ LP	Cristal de Baja Potencia
+ XT	Cristal / Resonante
+ HS	Cristal de Alta Velocidad / Resonante
+ RC	Resistor / Capacitor

Ahora corresponde elegir el oscilador más adecuado a nuestra aplicación, para lo cual se dará el análisis de las ventajas y las desventajas de cada uno de éstos osciladores.

Los osciladores LP, XT, y HS se pueden catalogar dentro de una misma modalidad, la cual es la de configuración cristal / cerámico, y ambos tienen la ventaja de operar a frecuencias que oscilan en el rango de los 32 KHz hasta los 20 MHz. La única desventaja que pudiera existir entre éstos y el oscilador RC, es su costo, ya que el oscilador RC es sumamente económico por componerse solamente de un capacitor cerámico y de una resistencia de carbón de $\frac{1}{4}$ de W.

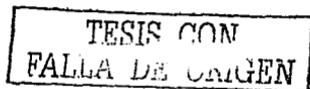
Si bien es importante considerar los costos, es necesario también analizar la precisión del sistema, el controlador se va a aplicar en un sistema fotovoltaico en donde debe existir la mayor precisión posible en las lecturas que se van a realizar de los voltajes, además aún cuando no se requiriera tanta precisión, hay que recordar que el controlador automático de cargas estará expuesto a la intemperie, no a la humedad, pero sí a los cambios climáticos y el capacitor cerámico es muy sensible a cambios de temperatura al igual que la resistencia. De tal forma que todo cambio en estos componentes (incluyendo los que ya vienen de fábrica por sus propias tolerancias) afectará a la oscilación que se le entregue al microcontrolador y, el microcontrolador requiere de tener un estricto control de los tiempos de actuación dentro del software, pues si bien el microcontrolador irá tomando las lecturas y realizando acciones a cada pulsación del oscilador, también es cierto que dentro del software se requieren de rutinas de retardo en tiempo para que se dé el tiempo necesario al microcontrolador para terminar otras acciones, algo así como un control de flujo interno de datos, para evitar que el sistema se colapse, ya que habrá momentos en que si se requerirá de toda la velocidad del oscilador.

Partiendo de lo anterior, aunque el oscilador RC es más sencillo de armar y más económico, no nos sería útil por ser muy inestable, de tal forma que se puede elegir cualquiera de las otras opciones. Habiendo quedado descartado el oscilador RC, sólo nos queda elegir entre el oscilador de cristal y el cerámico. El oscilador cerámico se compone de resonantes diseñados exclusivamente para aplicaciones en osciladores y las marcas que el fabricante del microcontrolador recomienda son las de PANASONIC y las de MURATA ERIE. El hecho de restringirse a sólo 2 fabricantes de resonantes, indica que éstos productos son especiales y que se nos pueden presentar 2 problemas:

1. El costo del componente es considerable.
2. La disponibilidad en el mercado puede ser escasa.

Ante estas 2 desventajas, se tiene que mirar hacia el oscilador de cristal, el cual también es otra opción proporcionado por el fabricante, la cual aunque es menos precisa que la del oscilador cerámico, cuando menos es más económica y hay mayor cantidad de fabricantes en el mercado de este componente, la razón en que si se utilizase un oscilador cerámico y no uno de cristal, sería cuando el equipo a diseñar se tratara de un equipo de alta precisión, lo cual amortizaría su costo. Volviendo al oscilador de cristal, habrá que mencionar que es posible utilizar 2 tipos de arreglos:

1. Cristal en paralelo.
2. Cristal en serie.



El cristal en paralelo requiere de un arreglo con 2 capacitores cerámicos (mismos que el oscilador cerámico no requiere, ya que se conecta de forma directa). Mientras que el cristal en serie requiere de buffers inversores y resistencias, lo cual además de aumentar el grado de error, también incrementa el costo (ya que se requiere de un circuito integrado de buffers inversores), de tal forma que se descartaría ésta opción y se optará por el cristal en paralelo. A continuación se muestra la figura 4.5 el arreglo requerido para la conexión del cristal en paralelo:

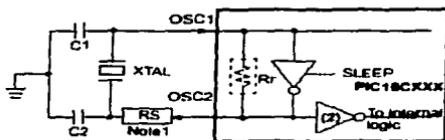


Figura 4.5 Configuración del circuito necesario para la conexión de un cristal paralelo

La resistencia que se muestra en el diagrama (RS) es opcional y se recomienda para evitar ruidos que puedan afectar al microcontrolador. XTAL es el cristal y puede colocarse en frecuencias que oscilen desde los 32 KHz hasta los 20 MHz, ahora bien, el fabricante del microcontrolador recomienda diferentes valores de capacitor dependiendo de la frecuencia elegida para el cristal, a continuación se muestra una tabla en la cual se muestran los valores recomendados para los capacitores C1 y C2, así como la clasificación de oscilador, de pendiendo de la velocidad de oscilación (LP, XT y HS):

Osc Type	Crystal Freq	Cap Range C1	Cap Range C2
LP	32 KHz	33 pF	33 pF
	200 KHz	18 pF	18 pF
XT	200 KHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	18 pF	18 pF
	4 MHz	18 pF	18 pF
HS	4 MHz	18 pF	18 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF

These values are for design guidance only. See notes at bottom of page.

Crystal Used			
32 KHz	Epson C-001R32 7080A	± 20 PPM	
200 KHz	STC XTL 200 000KHz	± 20 PPM	
1 MHz	ECS 8 CS-10 1.5-1	± 30 PPM	
4 MHz	FCB FCB-40 70-1	± 30 PPM	
8 MHz	EPSON CA-301 8 000M-C	± 30 PPM	
20 MHz	EPSON CA-301 20 000M-C	± 30 PPM	

Tabla 4.3 En esta tabla se muestran los valores recomendados para C1 y C2 en función de la frecuencia de oscilación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

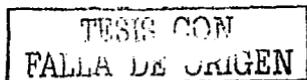
Conforme a la tabla 4.3, si el controlador de cargas fotovoltaico lo vamos a hacer trabajar con un cristal de 4 MHz, los capacitores que se necesitarán son los siguientes: $C1 = C2 = 15 \text{ pF}$; por otra parte, el oscilador se puede clasificar dentro de 2 categorías: oscilador XT u oscilador HS, ambos casos son aceptables. Con esto queda finalizada la configuración para el óptimo funcionamiento de la etapa lógica, ya que el resto de ésta etapa se enfoca principalmente en el software de control del sistema, que se verá en el capítulo dedicado expresamente al software.

4.5 DISEÑO DE LA ETAPA ACTUADORA

Esta etapa es la que responderá a los resultados obtenidos de las 2 etapas anteriores y además, es la etapa encargada de llevar a efecto las acciones directas sobre el sistema a controlar. Antes de proseguir, es necesario aclarar que esta última se activa por una señal de disparo proveniente del microcontrolador PIC16C711.

4.5.1 SISTEMA ACTUADOR DE DISPARO

Este circuito funciona como enlace entre la etapa lógica y como actuador de potencia, además también es útil en la visualización del comportamiento del sistema que se está controlando, es con este circuito con el que también se tendrá visualizado el comportamiento del sistema a controlar (sistema fotovoltaico), la visualización se llevará a cabo a través de LED's que funcionarán como indicadores luminosos. El circuito se compone en su parte fundamental, de transistores BC547B o BC547C (ambos casos son aceptables) y resistencias de carbón de 1/2 W. La razón de utilizar este arreglo, radica en el hecho de que se requieren corrientes mayores a las proporcionadas por el microcontrolador para poder activar a los transistores MOSFET. A continuación se detalla la función del arreglo con el transistor BC547B tanto en estado de corte como en estado de saturación.



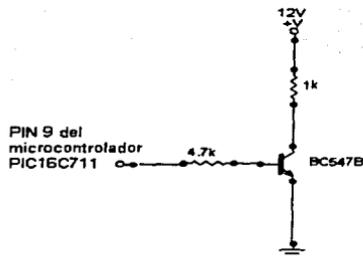


Figura 4.6 Configuración del circuito necesario para acoplar la etapa lógica con la etapa de potencia

El transistor BC547B se pone en **estado de saturación** por la señal que recibe del microcontrolador. Los valores de las resistencias pueden ser cualquiera otros, siempre y cuando se cumpla la condición de corte y saturación, a continuación se dan las ecuaciones resolutivas de este arreglo.

Iniciaremos utilizando análisis de mallas y obtendremos:

$$VCC - (IC \cdot RC) - VCE = 0 \quad \text{Ec. 4.4}$$

$$VB - (IB \cdot RB) - VBE = 0 \quad \text{Ec. 4.5}$$

Las ecuaciones obtenidas están en función de las características de análisis en corriente directa que se hace de los transistores bipolares, y también se requerirá de la ecuación característica de dichos transistores, tal ecuación es la siguiente:

$$IC = \beta \cdot IB \quad \text{Ec. 4.6}$$

Con ayuda de éstas 3 ecuaciones se puede iniciar el análisis del transistor BC547B, pero antes de continuar, hay que recordar que el término *saturación* se aplica a cualquier sistema donde los niveles de corriente alcanzados son valores máximos. Para un transistor que opera en la región de saturación, la corriente es un valor máximo para el diseño particular; por supuesto, el mayor nivel de saturación se define por la máxima corriente de colector, tal como se proporciona en la hoja de especificaciones. Ahora bien, para lograr la condición de saturación hay que considerar las siguientes condiciones:

1. $V_{CE} = 0$
2. $R_{CE} = 0 \Omega$ (para lograr la saturación)

Para que se cumplan las 2 anteriores condiciones es necesario que el arreglo que se implemente con cualquier transistor bipolar, no debe contar con resistencia de emisor, pues de otra forma existiría una diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia de emisor (RE) que impediría la saturación del transistor.

El hecho de haber elegido el transistor BC547B radica en que este transistor está fabricado para su aplicación en circuitos electrónicos donde se requiere de conmutación por medio de señales digitales ($V = 5V$ y $0 = 0.7V$).

Los valores de las resistencias se obtuvieron con ayuda de las ecuaciones obtenidas del análisis de mallas y de la ecuación propia del transistor y con la ayuda de un programa que permitió obtener dichos valores a través de iteraciones hasta obtener la saturación del transistor con valores comerciales de resistencias, aquí nos limitaremos solamente a justificar el valor de cada una de las resistencias utilizadas en el arreglo en general para lograr la saturación de ambos transistores.

Una vez aclarado todo lo anterior, continuaremos con el análisis de la parte integrada por el transistor BC547B, sustituyendo valores en la ecuación 4.4 tenemos que:

$$12V - (I_C * 1 \text{ K}\Omega) - V_{CE} = 0$$

Despejando VCE tenemos:

$$V_{CE} = 12V - (I_C * 1 \text{ K}\Omega)$$

Ec. 4.5.1

Sustituyendo valores en la ecuación 4.5 se tiene que:

$$5.3V - (I_B * 4.7 \text{ K}\Omega) - 0.7V = 0 \quad (\text{observar figura 4.6})$$

En este punto se aclara que los 5.3V del VB es el voltaje entregado por el microcontrolador, el cual indica que el voltaje de salida de cada PIN (a excepción de RA4) tiene un valor de $V_O + 0.3V$ (donde V_O es el voltaje de 5V que alimenta al microcontrolador).

Despejando I_B de la ecuación 4.5:

$$I_B = (5.3 - 0.7)V / 4.7 K\Omega \Rightarrow I_B = 978.7234 \mu A$$

El valor obtenido para I_B se sustituirá en la ecuación 4.6, donde el valor de $\beta = 250$:

$$I_C = 250 * 978.7234 \mu A$$

$$\text{Por tanto } I_C = 244.68 \text{ mA}$$

El valor obtenido para I_C ahora será sustituido en la ecuación 4.5.1, quedando de la siguiente manera:

$$V_{CE} = 12 - (244.68 \text{ mA} * 1 K\Omega)$$

$$\text{Por tanto } V_{CE} = -232.68V \approx 0.2 V$$

En términos generales los valores obtenidos indican la saturación del transistor dado que:

$$I_C = (12V - 0.2V) / 1 K\Omega = 11.8 \text{ mA}$$

$$V_{CE} \approx 0$$

A continuación se realizará el análisis del mismo circuito pero para el caso en que el transistor este en **estado de corte** para lo cual se utilizarán las mismas ecuaciones que en el caso del estado en saturación, la única variante será que en la base del transistor

$$I_B = (0.7 - 0.7)V / 4.7 K\Omega \Rightarrow I_B = 0 A$$

Sustituyendo I_B en la ecuación 4.7, donde el valor de $\beta = 250$:

$$I_C = 250 * 0 \mu A$$

$$\text{Por lo tanto } I_C = 0 A$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El valor obtenido para IC será sustituido en la ecuación 4.5.1:

$$VCE = 12 - (0 * 1 K\Omega)$$

Por tanto $VCE = 12 V$

Si se desea observar en que momento está activa la carga, o en que momento está conectado el panel a la batería, bastará con colocar un diodo LED en la base del transistor BC547B (después de la resistencia de $4.7 K\Omega$ para limitar el paso de corriente al LED), de esta forma se podrá visualizar el comportamiento del sistema (el ánodo irá, obviamente conectado en la base y el cátodo a tierra).

Cuando el transistor BC547B se halla en estado de corte (tiene 0V en la base proveniente del microcontrolador), por lo cual se excitará el transistor MOSFET. Cuando el transistor BC547B este en estado de saturación (tiene 5.3V en la base) el transistor MOSFET se desactivará y desconectará los equipos que se hallen conectados a la salida del sistema fotovoltaico.

Por otra parte de la misma forma en que se calculó el arreglo necesario para activar los equipos que se hallan conectados a las baterías, de igual manera se maneja para la conexión y desconexión del panel fotovoltaico hacia la batería, de tal forma que el PIN 9 se encargará de conectar y desconectar los equipos conectados a la batería y el PIN 8 se hará cargo de conectar y desconectar el panel de la batería a través de circuitos de activación idénticos.

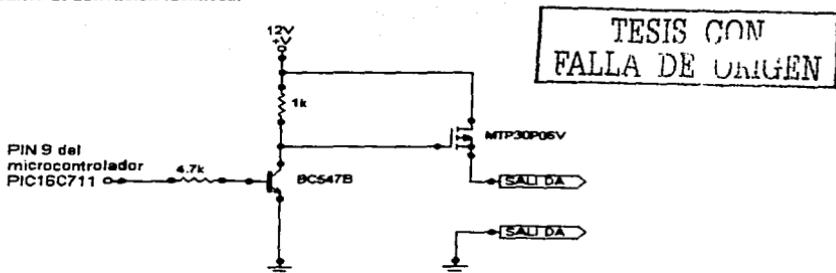


Figura 4.7 Arreglo completo de activación del transistor MOSFET MTP30P06V

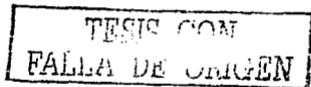
El transistor MOSFET no cuenta con arreglos de resistencias, y ningún tipo de componente auxiliar que no sea el arreglo con los transistores antes descritos. La función de los transistores MOSFET MTP30P06V es únicamente la de componentes de conmutación, la corriente que circula a través de ellos (de drenador a surtidor) es toda la que la carga demande, en este caso, el diseño que se está planteando es el de un controlador fotovoltaico capaz de entregar 20 amperes, ahora bien, los transistores MTP30P06V tienen las siguientes características:

1. Maneja una corriente de drenador de 30 amperes continuos y 105 amperes pico.
2. Soporta un $V_{DS} = 60V$.
3. Cuenta con una $R_{DS(ON)} = 80 m\Omega$.
4. Temperatura máxima de operación de $175^{\circ}C$

Hay que tomar en cuenta que para elegir el transistor MTP30P06V debe observarse cual es el valor más crítico con el cual trabajará dicho transistor, en este caso el valor más crítico es el de la corriente de drenador, como el sistema fotovoltaico a controlar se tiene pensado que soporte corrientes de 20 amperes, al valor de 20 amperes se le agrega el 30% más y el resultado obtenido nos dará como resultado el componente a utilizar que soporte esa corriente, en este caso el valor adicional es de 26 amperes.

El transistor MTP30P06V soporta más de 26 amperes, todo componente debe trabajar de forma holgada, nunca en sus límites máximos de operación, pues de lo contrario el componente puede dañarse. Hay que observar que el voltaje de drenador a surtidor es sumamente excesivo al voltaje que en realidad va a manejar, el cual llegará a lo mucho a 15V, sin embargo este parámetro no afecta ni en costo ni en operación. Otro parámetro importante a considerar es el de R_{DS} , este parámetro entre más pequeño sea es mejor, la razón es que existe mucho menor oposición al paso de corriente del drenador al surtidor.

Un parámetro muy importante que se debe tener en cuenta es el de la temperatura que soportan los componentes, sobre todo si son de potencia, como es el caso de los transistores MTP30P06V, la temperatura máxima que soporta este componente es de $175^{\circ}C$, de tal forma que el disipador que se utilice deberá mantener por debajo de esa temperatura al componente, por experiencia es aconsejable mantener al componente en una temperatura que oscile entre los 70 y los $90^{\circ}C$, ya que cuanto más se aproxime el componente a la temperatura máxima de operación, menor será la eficiencia del mismo, pues la corriente circulante que permita pasar disminuirá y llegará el punto en que el componente se destruirá. Casi siempre es común que la temperatura de los componentes de potencia con mala disipación vayan incrementando su temperatura de forma gradual al inicio de su operación, pero llega un momento en que la temperatura alcanzada por el componente se dispersa y el componente se quema.



Para obtener un disipador adecuado, es necesario probar el controlador automático de carga a plena carga (con una carga que demande los 20 amperes), para obtener el disipador adecuado en función de pruebas físicas y no en cálculos simplemente, pues con cálculos no se toman en cuenta muchos parámetros que pueden afectar al comportamiento del disipador, un ejemplo de ello es la temperatura ambiente, el viento, el polvo, la corrosión, etc. El material del disipador será de aluminio y con aletas, pues el área de disipación para éstos componentes es por lo general muy extensa, además que se presentan aspectos mecánicos generados por el calor que transmiten los transistores hacia el disipador y este hacia el aire, ésta es una disipación por convección en la cual se generan corrientes de aire que ayudan a la disipación del calor. Por lo extenso del desarrollo para obtener el área idónea de disipación, se omite a detalle las características físico mecánicas del disipador, sin embargo se dio la pauta para obtener el disipador por medio de prueba y error, baste decir que la placa disipadora deberá tener un espesor de al menos 5 mm y un área total de 450 cm² (tomando en cuenta el área proporcionada por las aletas que tenga el disipador).

Con esto queda concluida la etapa actuadora del controlador fotovoltaico, la cual es la que proporciona los resultados palpables del sistema de control. En el subcapítulo siguiente se citará la etapa que muchas veces no es manejada con el cuidado que requiere por lo que muchas veces los circuitos no trabajan adecuadamente, dicha etapa es la de protección.

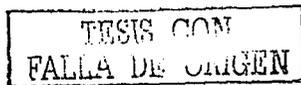
4.6 DISEÑO DE LA ETAPA DE PROTECCIÓN DEL CONTROLADOR

La etapa de protección es fundamental en cualquier circuito eléctrico, pues por su naturaleza está expuesto a ruidos generados por el medio ambiente o bien por sistemas eléctricos adyacentes. En el caso del controlador fotovoltaico la etapa de protección está integrada básicamente por capacitores cerámicos y electrolíticos, los capacitores tienen la función de filtros, pues como es sabido todas las corrientes parásitas que se presenten en el circuito quedarán retenidas en el interior de los capacitores. Otro tipo de protección con que cuenta el circuito es contra sobre cargas, pues se le coloca un fusible que debe ir colocado entre la salida del controlador fotovoltaico y la carga, así cuando llegara a existir una demanda excesiva de corriente el fusible se abrirá protegiendo a los transistores MOSFET de un posible calentamiento excesivo.

El circuito cuenta también con protección para el panel, pues este elemento no puede recibir voltaje, de lo contrario se dañaría, por tal razón se utiliza un **diodo Schottky** entre las terminales positivas del panel y la batería, esto es aprovechando la función del diodo de dejar pasar corriente positiva sólo de ánodo a cátodo. El diodo empleado es el MBR3045, el cual soporta 30 amperes y 45 volts de directa, el encapsulado de este componente es del tipo TO-218AC.

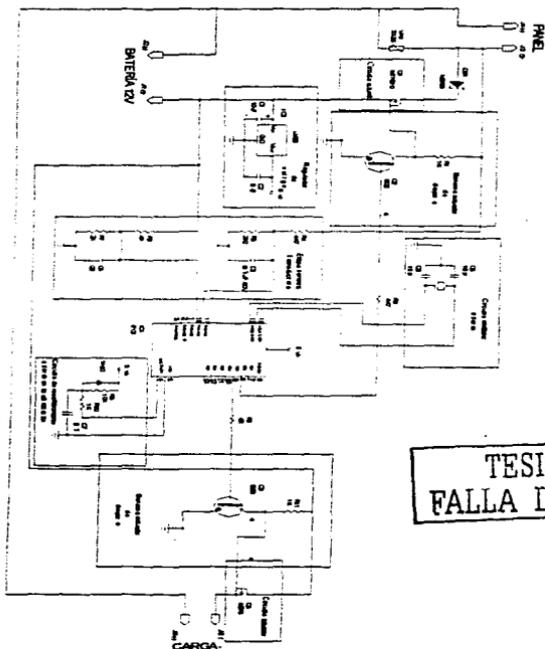
Un elemento más que proporciona protección es el uso de un varistor conectado en paralelo con el panel, para evitar descargas de voltaje que puedan afectar al controlador fotovoltaico, este debe ser de 30 volts para que alcance a absorber los picos de voltaje que se presentan al conectar y desconectar el panel, pues de entrada se dañaría el arreglo de transistores que se encargan de activar al transistor MOSFET MTP30P06V.

Regresando con los capacitores, hay que tomar en cuenta que se están manejando componentes digitales y analógicos, y es común que nos componentes analógicos (sobre todo si son de potencia) induzcan ruido a los componentes digitales, de tal forma que es útil utilizar capacitores cerámicos de 0.1 μF en los componentes digitales de alta frecuencia (caso del microcontrolador) y de 10 μF para el caso de circuitos integrados que requieran de precisión a la entrada (regulador LM7805CT) para no ver afectados sus voltajes de salida. Los capacitores cerámicos, deben estar lo más cercano posible al componente a proteger, más si se opera con altas frecuencias, pues de otra forma, el capacitor no funcionaría como filtro y debe colocarse en paralelo con las terminales de alimentación del componente a proteger o bien a la entrada y / o salida del dispositivo a proteger. A continuación se muestra el diagrama eléctrico del controlador fotovoltaico.



4.7 DIAGRAMA ELÉCTRICO

Una vez descritas las partes que integran el circuito del controlador fotovoltaico, a continuación se muestra el circuito eléctrico del controlador con todas sus partes debidamente identificadas. Las partes correspondientes a la protección no se identifican una por una para no saturar el diagrama pero son fácilmente identificables.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

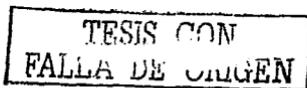
83

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 5.- CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE DEL CONTROLADOR FOTOVOLTAICO

Para que el controlador de cargas fotovoltaico funcione adecuadamente de acuerdo a la lógica de operación de todo el sistema fotovoltaico, es necesario crear un software de control, el cual será el encargado de acondicionar las señales necesarias para la operación adecuada del sistema. Tanto la parte física (hardware) como la parte de programación (software) se vinculan directamente entre sí, dependiendo una de la otra. Algo que es importante hacer notar es el hecho de que el software no es un programa común y corriente, se requieren necesariamente conocimientos profundos de diseño y un dominio cuando menos básico de operaciones lógico - binarias. Este diseño como se ha visto en los anteriores capítulos demanda conocer desde lo más básico hasta lo más complejo en electrónica e incluso aspectos eléctricos, ya que el controlador se ve como diseño y a la vez como aplicación en un sistema fotovoltaico real, de ahí que si alguna parte del controlador no trabaja adecuadamente, tanto el diseño como la aplicación, no serán útiles.

Por tal motivo, para hacer más sencilla la comprensión del software que a continuación se muestra, se irá detallando la función que habrá de cumplir cada juego de instrucciones. Nótese que la programación debe llevar un orden y una clasificación adecuada de las instrucciones para que cualquier persona sea capaz de entrar a realizar cambios dentro del programa de acuerdo a las necesidades del sistema a controlar. Por otra parte, cabe aclarar que siempre es recomendable describir la función que realizará cada juego de instrucciones, pues aún cuando la misma persona que lo diseñó intenta realizar modificaciones después de cierto tiempo, es lógico que no se recuerde de forma precisa los resultados que se deseaban obtener con determinado juego de instrucciones y tratar de ubicar nuevamente los resultados que traerían dichas instrucciones llevaría tiempo, mientras que estando identificadas las acciones esperadas (como se mostrará en el software que aquí se anexa), es más fácil realizar cambios en el programa estando bien clasificado, etiquetado y definido en resultados que si no lo estuviese.



5.1 USO DEL PUNTO Y COMA

Los datos que anteceden a las instrucciones son solamente datos del diseñador, los cuales pueden ser: nombre del software, sistema a controlar, alguna función que se requiera resaltar del software, versión del software, etc. Todos los textos que funcionen como comentarios deberán ir anteceditos de un punto y coma, para que el depurador del software los ignore y no trate de interpretarlos como instrucciones. Este programa llevará los siguientes comentarios:

```
:PROGRAMA CONTROLADOR.ASM
:SISTEMA: CONTROLADOR PARA PANELES SOLARES 12VDC GENERICO
:PROGRAMA: GASIFICACION C/30 DIAS
:ÚLTIMA REVISION: Enero 2002
:VERSIÓN: 2.05
```

5.2 INSTRUCCIONES PARA LA DEFINICIÓN INTERNA

Esta sección de instrucciones "DEFINICIONES INTERNAS", son las instrucciones que nos servirán para definir cuales son los puertos que funcionarán como entradas y cuales como salidas. Así como las funciones que realizará cada uno de ellas y las banderas de las prioridades.

1. PUERTOS DE ENTRADA

PORTA EQU 0051H (Esta instrucción indica en código hexadecimal que el puerto A quedará de la siguiente forma: PORTA,0 es entrada; PORTA,1 es salida; PORTA, 2 es entrada y los puertos A, 3 y 4 quedan automáticamente como salidas. Es recomendable que siempre que no se utilicen los puertos restantes, se les deje como salidas para evitar que lleguen a entrar señales parásitas que puedan causar errores en la lógica del programa.)

La siguiente lista de instrucciones, solamente son comentarios para el programador para que pueda saber que parámetros serán los que se van a controlar.

```
:          PORTA,0   SENSAR VOLTAJE DEL PANEL
:          PORTA,1   SENSAR VOLTAJE DE LA BATERÍA
:          PORTA,2   NO CONEXIÓN
:          PORTA,3   NO CONEXIÓN
:          PORTA,4   NO CONEXIÓN
```

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. PUERTOS DE SALIDA

PORTB EQU 006H (Esta instrucción indica en código hexadecimal que el puerto B quedará de la siguiente forma: PORTB,0 es salida ; PORTB,1 es entrada; PORTB, 2 es entrada y los puertos B del 3 hasta el 7 quedan automáticamente como salidas.)

Igual que en el puerto A, las instrucciones de aquí abajo son solamente para saber que función tendrá cada uno de los puertos.

:	PORTB,0	SEÑAL DE CLOCK				
:	PORTB,1	SEÑAL DE RESET				
:	PORTB,2	CONEXIÓN Y	DESCONEXIÓN	DEL	PANEL	
FOTOVOLTAICO						
:	PORTB,3	CONEXIÓN Y DESCONEJÓN	DE LAS CARGAS			
:	PORTB,4	NO CONEXIÓN				
:	PORTB,5	NO CONEXIÓN				
:	PORTB,6	NO CONEXIÓN				
:	PORTB,7	NO CONEXIÓN				

3. BANDERAS DE PRIORIDADES

En esta sección del programa se establecen las banderas o punteros de control, con los cuales el programa irá determinando las prioridades que se vayan presentando durante el control del sistema fotovoltaico.

BANDE EQU 010H

:	BANDE.0	STATUS BATERIA 1=ON 0=OFF
:	BANDE.1	DISPONIBLE
:	BANDE.2	DISPONIBLE
:	BANDE.3	BATERIA 1 = CARGADA 0 = DESCARGADA
:	BANDE.4	BANDERA DE CARGANDO
:	BANDE.5	ONE TIME LUCES
:	BANDE.6	BANDERA DE GASIFICACION
:	BANDE.7	DISPONIBLE

5.3 INSTRUCCIONES PARA LA MEMORIA

En esta etapa del programa, se establecen los registros del programa, los cuales deben tener una ubicación dentro de la memoria RAM del microcontrolador, ya que son los valores que se irán almacenando y que serán llamados o invocados en cualquier momento por alguna instrucción del software para tomar una decisión. En esta etapa se tiene el registro de los valores que se van tomando del sistema fotovoltaico, en sí es como tener tablas de lecturas de donde se irán tomando los valores que vayan siendo necesarios durante el control del sistema. También hay algunos valores de control que le indican al microcontrolador como manejar sus funciones internas, por ejemplo, al REGISTRO STATUS se le asigna el valor SALVAST dentro del programa, con lo cual el microcontrolador sabe que SALVAST = STATUS y el diseñador o realizador del programa lo ubica con un nombre más familiar de acuerdo al resultado que generará dentro del programa. De igual forma CONTDIA para el diseñador significa CONTADOR DE DÍAS y así se ubica más fácilmente, y a la vez se le da un valor en hexadecimal, el cual es la ubicación del parámetro dentro de la memoria RAM del microcontrolador. DEL1 y DEL2 indican que se asignará una rutina de retardo dentro de la corrida para dar tiempo a que se realicen las operaciones que se le hallan pedido al microcontrolador.

VOLMOD	EQU	011H	;VOLTAJE DE MODULO
VOLBAT	EQU	012H	;VOLTAJE DE BATERIA
SALVAW	EQU	013H	;REGISTRO W
SALVAST	EQU	014H	;REGISTRO STATUS
CONTDIA	EQU	019H	;CONTADOR DE DIAS
DEL1	EQU	01AH	;ROUTINA RETRA
DEL2	EQU	01BH	;TEMPORIZADOR EN GASIFICACIÓN

5.4 INSTRUCCIONES PARA LAS CONSTANTES DEL PROGRAMA

En esta etapa del software se establecen las constantes con las cuales se llevará a cabo el control del sistema fotovoltaico, dichos valores son los que permitirán el control del sistema fotovoltaico de acuerdo a las necesidades del mismo.

Las constantes de panel son los valores de voltaje a los cuales el panel deberá conectarse a las baterías, desconectarse de las baterías y realizar el control del conteo de días para saber cuando aplicar la instrucción de "Gasificación de las baterías", la cual es una función adicional con la que contará el controlador de cargas fotovoltaico.

El conteo de días se llevará a cabo con las constantes LUZON y LUZOF, y si observamos en la columna derecha hay unos parámetros de voltaje, que se tomaron en estudios anteriores a la realización de este software para determinar que voltaje existe en los bornes del panel al anochecer y al amanecer.

Estos valores se utilizarán posteriormente por el convertidor A / D del microcontrolador para llevar la lectura tomada en valor analógico a digital a un registro CONTDLA, el cual se incrementará en un bit por medio de un contador cada vez que se presenten estos parámetros, así hasta llegar a 30, que son los días que componen un mes, se manejará en este caso el estándar 30 porque se dificultaría el realizar un programa que llevara con precisión los días de cada mes, y lo único importante a final de cuentas, es realizar la gasificación cada 30 días.

*****CONSTANTES DE MODULO O PANEL*****

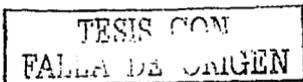
MODON	EQU	66H	; 11.4V CONEXIÓN DEL PANEL
MODGAS	EQU	86H	; 15V GASIFICACIÓN DE LA BATERÍA
MODOF	EQU	79H	; 13.5V DESCONEXIÓN DEL PANEL
MODRC	EQU	076H	; 13.2V RECONEXIÓN DEL PANEL
LUZOF	EQU	00CH	; 1.4V 5 LUXES ATARDECER
LUZON	EQU	016H	; 2.5V 12 LUXES AMANECER

5.5 INSTRUCCIONES PARA LAS CONSTANTES DE LA CARGA

Las constantes relativas a la carga indican los valores en voltaje a los cuales las baterías se considerarán cargadas o descargadas, para de esta forma indicarle al panel si debe permanecer conectado o bien debe ser desconectado, de tal forma que al realizar el microcontrolador el monitoreo del sistema, los valores que sean sensados deberán coincidir con alguno de los datos que tiene almacenados en las constantes BATOF o BATON y así se tomará la decisión que será la que coincida con la lectura tomada por el microcontrolador del medio circundante.

BATON	EQU	076H	; 13.2 V
BATOF	EQU	062H	; 11 V

A partir de este momento se listan las instrucciones que componen el algoritmo de control o software de control del microcontrolador, con el cual se llevarán a cabo las tomas de decisiones del sistema fotovoltaico.



Las funciones de cada una de las instrucciones se citaron en el capítulo dedicado a dicho tema, por lo que se irán describiendo únicamente las acciones que se obtendrán como resultado de utilizar una u otra instrucción, de igual forma se explicará la forma en que se está llevando el control interno del microcontrolador (entiéndase como control interno, el seleccionar por ejemplo puertos como entradas o salidas y/o activación o desactivación del convertidor A/D, entre otros).

#INCLUDE "P16C711.INC" ; (esta instrucción define el tipo de microcontrolador que se está utilizando para programar).

ORG 000H (esta instrucción indica al microcontrolador PIC16C711 que se debe reinicializar así mismo, para borrar cualquier basura o parámetro no deseado de su memoria).

INICIO; Todo aparente título como la palabra INICIO debe manejarse como una etiqueta de nombre para una subrutina, como en este caso.

BSF STATUS,5 ; selecciona página 1 de la memoria del microcontrolador
 CLRW ; limpia el registro W
 MOVLW 0F0H ; mueve literalmente el valor hexadecimal 0F0 al registro W
 MOVWF 086H ; coloca el valor hexadecimal 086 en el registro W
 MOVLW 000H ; prepara el convertidor A/D
 (CH0=CH1=CH2=CH3=A/D VREF=VDD)
 MOVWF ADCON1 ; activa el convertidor A/D
 BCF STATUS,5 ; selecciona la página 0 de la memoria del microcontrolador
 MOVLW 01EH ; mueve literalmente el valor hexadecimal
 MOVWF CONTDIA ; mueve el valor hexadecimal 019
 CLRW ; limpia al registro W dejándolo en cero
 BSF BANDE,0 ; estado inicial de batería
 BSF BANDE,3 ; supone batería cargada
 BSF BANDE,4 ; supone batería en estado normal
 BCF BANDE,5 ; bandera del contador de días
 BCF BANDE,6 ; bandera de gasificación
 CALL RETRA ; llama a la subrutina RETRA, encargada de aplicar retardos
 CALL RETRA ; se llama de nuevo a la subrutina para retardar el
 proceso el doble de tiempo.

5.6 SUBROUTINA PRINCIPAL

La subrutina Principal (MAIN) que se describe líneas abajo, es la parte central del software, es la subrutina maestra, ya que es desde aquí es donde se lleva a cabo el direccionamiento hacia otras subrutinas y el control de flujo de los datos vía software.

MAIN

CALL LECTURA ; llama a la subrutina de lectura de variables
CALL PROCESA ; llama a la subrutina de procesamiento de datos
CLRWDT ; se activa el WatchDog Timer con el fin de proteger al sistema
contra ruidos que puedan causar que se "pierda" la secuencia lógica del programa
CALL CKDIA ; llama a la subrutina cuenta días
CALL INICIAL ; llama a la subrutina RUTINA V.S. CORRUPCION
CALL RETRA ; llama a la subrutina de retardo
GOTO MAIN ; regresa a MAIN y se repite todo el procedimiento anterior

5.7 SUBROUTINA DE FILTRO

La subrutina que se muestra a continuación, como su nombre lo indica, está realizada con el fin de evitar fallos en el sistema debidos a ruido ambiental que puede afectar a las decisiones del microcontrolador, esta subrutina cumple la función de filtro informático. Pues además de limitar problemas por ruidos ambientales, también mantiene en refresco constante la memoria del microcontrolador para evitar que datos extensos se alteren por corrupción, la cual puede llegar a presentarse ante datos muy extensos y consiste en la pérdida parcial o total de datos.

INICIAL

BSF STATUS, 5 ; selecciona la página 1 de la memoria del microcontrolador
CLRW ; limpia registro el registro W y lo deja en cero
MOVLW 0F0H ; coloca el valor hexadecimal 0F0 en el registro W
MOVWF 086H ; mueve el valor hexadecimal 086 hacia otro registro diferente a W

MOVLW	000H	; CH0=CH1=CH2=CH3=A/D VREF = VDD (prepara al convertidor A/D)
MOVWF	ADCON1	; se activa la configuración de las entradas del convertidor A/D
BCF	STATUS,5	; se selecciona la página 0 de la memoria del microcontrolador
BSF	INTCON,7	; se habilitan las interrupciones del microcontrolador
RETURN		;regresa a la parte del programa de donde se llamó a esta subrutina

5.8 SUBROUTINA DE LECTURA

En esta subrutina el microcontrolador toma los datos que tiene en las terminales que tiene habilitadas como entradas y con los cuales irá tomando las decisiones adecuadas para llevar a cabo el control adecuado del sistema conforme se le programó.

LECTURA

	MOVLW	0C1H	; se activa el oscilador RC del convertidor A/D y se enciende el convertidor
	MOVWF	ADCON0	; se selecciona el canal cero
	BSF	ADCON0,2	; inicia la conversión
INI01	BTFS	ADCON0,ADIF	; espera a terminar la conversión
	GOTO	INI01	; mientras no termine la conversión se mantiene en este lazo
	BCF	STATUS,C	; como la conversión ha finalizado hay que limpiar el registro STATUS
	RRF	ADRES,W	; saca el dato, lo divide y lo pone en W
	BCF	STATUS,C	; se vuelve a limpiar el registro STATUS
	RRF	VOLMOD,1	; divide entre 2 el dato obtenido
	BCF	STATUS,C	; se vuelve a limpiar el registro STATUS
	ADDWF	VOLMOD,1	; se suma y se coloca el dato en VOLMOD
	BCF	ADCON0,1	; limpia el bit de ADON
	CLRW		; se limpia el registro W y queda en cero
	MOVWF	ADRES	; se limpia ADRES y queda en cero
INIC11	MOVLW	0C9H	; coloca el valor hexadecimal 0C9 en el registro W

MOVWF	ADCON0	; opera el convertidor a través del canal uno y se activa el oscilador RC del convertidor A/D
INI1		
BSF	ADCON0,2	; inicia conversión analógico - digital
INI10		
BTFSS	ADCON0,ADIF	; espera a terminar conversión
GOTO	INI10	; se mantiene en este lazo cerrado hasta terminar la conversión
BCF	STATUS,C	; limpia el registro STATUS
RRF	ADRES,W	; saca dato, divide y pone en W
BCF	STATUS,C	; limpia el registro STATUS
RRF	VOLBAT,1	; divide entre 2
BCF	STATUS,C	; limpia el registro STATUS
ADDWF	VOLBAT,1	; suma y pone dato en VOLBAT
BCF	ADCON0,1	; limpia bit de ADON
CLRW		; limpia el registro W
MOVWF	ADRES	; se pone ADRES en cero
RETURN		; regresa de lectura

5.9 SUBROUTINA DE PROCESAMIENTO

En esta subrutina se lleva a cabo el procesamiento de los datos tomados por el microcontrolador por medio de sus terminales habilitadas como entradas.

PROCESA

MOVW	MODOF	; pone el valor asignado a MODOF en W
SUBWF	VOLBAT,W	; se efectúa la siguiente operación: VOLBAT-MODOF--
>W		
BTFSC	STATUS,C	; se revisa la condición del STATUS
GOTO	OFGAS	; se omite esta instrucción si STATUS = 0
MOVW	MODON	; se coloca el valor asignado a MODON en el registro W
SUBWF	VOLMOD,W	; se efectúa la siguiente operación VOLMOD-MODON y se guarda en el registro W
BTFSC	STATUS,C	; se revisa la condición del STATUS

GOTO ONMOD		; se omite esta instrucción si STATUS = 0
GOTO OFMOD		; se brinca a la subrutina OFMOD si STATUS = 0
ONMOD		
BTFSC BANDE,4		; revisa la carga de las baterías
GOTO ONMOD1		; se efectúa esta operación si STATUS = 1
MOVLW MODRC		; se coloca el valor asignado a MODRC en el registro W
SUBWF VOLBAT,W		; se efectúa la siguiente operación VOLBAT-MODRC--
>W		
BTFSC STATUS,C		; se revisa la condición del STATUS
GOTO OFGAS		; se efectúa esta operación si STATUS = 1
ONMOD1		
BCF INTCON,5		; deshabilita interrupción
BSF PORTB,2		; activa el módulo
BSF BANDE,3		; batería cargada
BSF BANDE,4		; pone cargando
BSF BANDE,5		; chequea si es de día o de noche
GOTO BATERIA		; chequea batería
OFGAS		
BTFSS BANDE,6		; chequea por gasificación
GOTO OFMOD		
MOVLW MODGAS		; pone el valor asignado a MODGAS en el registro W
SUBWF VOLBAT,W		; se efectúa la siguiente operación VOLBAT-MODGAS-->W
BTFSS STATUS,C		; se revisa la condición del STATUS
GOTO ONMOD1		; se omite esta operación si STATUS = 0
DECFSZ DEL2		; se decrementa un bit al valor asignado a DEL2
GOTO BATERIA		; varias pasadas en GAS para la revisión constante de las baterías
BCF BANDE,6		; quita bandera de gasificación
OFGAS		
BCF PORTB,2		; desconecta el módulo
BCF BANDE,4		; quita la bandera de cargando baterías

5.10 SUBROUTINA PARA LAS BATERÍAS

Esta subrutina se encarga del control de las baterías conectadas al sistema fotovoltaico, por medio de instrucciones de comparación y de algunas operaciones sencillas, es posible tener en constante observación las condiciones de carga de las baterías.

BATERIA

```
MOVW      BATOF      ; pone el contenido de BATOF EN W
SUBWF     VOLBAT,W   ; se efectúa la siguiente operación VOLBAT-BATOF--
>W

BTFSS STATUS,C      ; se revisa la condición del registro STATUS
GOTO OFBAT          ; si el STATUS = 0 se omite esta operación
BTFSS BANDE,0       ; se revisa la condición del registro STATUS
GOTO BATERIA01      ; si STATUS = 1 se ejecuta este comando
GOTO ONBAT          ; si STATUS = 0 se ejecuta este comando
```

BATERIA01

```
MOVW      BATON      ; coloca el contenido de BATON en W
SUBWF     VOLBAT,W   ; se efectúa la siguiente operación VOLBAT-BATON--
>W

BTFSC STATUS,C      ; se revisa la condición del registro STATUS
GOTO ONBAT          ; se efectúa esta operación si STATUS = 1
```

OFBAT

```
BCF      BANDE,0     ; apaga bandera de STATUS
BCF      PORTB,3     ; si la batería está baja, se desactiva el módulo
BCF      BANDE,3     ; pone batería descargada
BSF      BANDE,6     ; pone bandera de gasificación
RETURN    ; regresa de la subrutina OFBAT
```

ONBAT

```
BSF      BANDE,0     ; pone bandera de STATUS
BSF      PORTB,3     ; conecta la batería
RETURN
```

5.11 SUBROUTINA PARA LOS DÍAS

En esta subrutina se lleva a cabo el control del conteo de días, con el fin de determinar cuando se aplicará la acción de gasificación de las baterías, teniendo en cuenta que esta acción debe efectuarse cada 30 días.

CKDIA

BTFSC BANDE,5 ; chequea si es de día o de noche
 GOTO DIA ; se mantiene en lazo cerrado hasta que BANDE,5 = 0, que es cuando se interrumpe el lazo cerrado

NOCHE

MOVLW LUZON ; pone el contenido de LUZON en W
 SUBWF VOLMOD,W ; se efectúa la siguiente operación VOLMOD-LUZOF--

>W

BTFSS STATUS,C ; se revisa la condición del registro STATUS
 RETURN ; regresa de la subrutina NOCHE
 BSF BANDE,5 ; hace que BANDE,5 = 1
 DECFSZ CONTDIA ; Se va haciendo el conteo de forma decremental, restando un bit a CONTDIA cada que el programa pasa por esta parte del programa

GOTO DIA ; una vez llegando a cero el decremento anterior, se efectúa esta instrucción

BSF BANDE,6 ; pone bandera de gasificación
 MOVLW 01EH ; se asigna este valor hexadecimal al registro W
 MOVWF CONTDIA ; se asigna el anterior valor hexadecimal a CONTDIA, dicho valor será el que se decrementará posteriormente
 RETURN ; regresa de la subrutina NOCHE

DIA

MOVLW LUZOF ; asigna el valor contenido en LUZOF al registro W
 SUBWF VOLMOD,W ; se efectúa la siguiente operación VOLMOD-LUZOF->W
 BTFSC STATUS,C ; se revisa la condición del registro STATUS
 RETURN ; se regresa de la subrutina DIA si STATUS = 1
 BCF BANDE,5 ; se hace que BANDE,5 = 0
 BCF BANDE,6 ; se quita la gasificación
 RETURN ; regresa de la subrutina DIA

5.12 SUBROUTINA DE RETARDO

Esta subrutina tiene la única función de aplicar retardos en las partes que el programa lo requiera, para dar tiempo a que se procesen datos muy extensos o de lenta adquisición.

RETRA

DECFSZ	DEL1	; decrementa un bit a DEL1 cada vez que el programa pasa por este
		punto
GOTO	RETRA	; esta instrucción se repite hasta que DEL1 = 0
RETURN		; regresa de la subrutina RETRA
END		; indica el fin del programa

5.13 CARACTERÍSTICAS Y LÓGICA DEL SOFTWARE

La descripción de cada una de las subrutinas se dieron en el capítulo 3, sin embargo como se observó este capítulo, aparecieron instrucciones de activación y configuración. Las instrucciones de activación incluyen la habilitación de los puertos, ya sea como entradas o como salidas. La nueva configuración que aparece en este software es la del convertidor A/D, este se habilita de diferentes y muy diversas formas, todas ellas por medio de combinaciones binarias, al igual que ocurre con los puertos del microcontrolador.

Las instrucciones de configuración nos permiten determinar de que forma funcionarán los diferentes componentes que integran al microcontrolador, por ejemplo, que entradas del convertidor serán utilizadas para la toma de datos, en que momento los puertos se convertirán en entradas y en que momentos se convertirán en salidas, incluso también se manejan los tiempos de retardo de acuerdo a la frecuencia a la que se encuentre operando el circuito oscilador que hace que el microcontrolador actúe. Como se observa, el programa esta estructurado de forma clasificada, las primeras subrutinas están básicamente dedicadas al control de la memoria del microcontrolador, ya que en estas es en donde se dan de alta los parámetros que se utilizarán a lo largo del programa como constantes, si se observa al principio se utiliza una instrucción llamada "EQU" que nos sirve para ubicar la posición que tomará dicha constante en el área de memoria del micro controlador, es en sí una dirección dentro de la página de memoria, hay también otros valores a los cuales no se les da una dirección individual, ya que por ser parámetros cuyo valor cambia de forma constante, no requieren de gran cantidad de espacio para cada una de ellas.

Aunque no se ahonda en detalles con respecto a la memoria del microcontrolador, hay que aclarar que si no se tiene cuidado de manejar las direcciones de memoria de forma adecuada, el microcontrolador se puede llegar a perder, ya que por estar paginada la memoria, existe una regla en el microcontrolador PIC16C711 que indica que si una sección de la página inicia en 000H y finaliza en 01AH, no se pueden colocar instrucciones del programa que inicien en 01AH y finalicen en 02AH, pues el microcontrolador automáticamente omitiría las acciones que ya se hubieran efectuado en la sección anterior y podría incluso "brincar" la secuencia que lleva el programa, lo cual llevaría a que se ejecutaran acciones no programadas por el diseñador. Por tal motivo es muy importante leer el manual del microcontrolador, en el cual se indica de forma explícita el paginado de la memoria, para respetar los límites que indica el fabricante, pues también se debe tomar en cuenta hay áreas de la memoria que están reservadas por el mismo fabricante como parte de la configuración de fábrica que trae el microcontrolador.

5.14 FORMATO DEL PROGRAMA

Es recomendable tener siempre identificada cada una de las instrucciones que se están utilizando a lo largo del programa de control, los comentarios deben ir precedidos por ";" ya que de lo contrario el programa no podría determinar si se trata de un comentario o de una instrucción. Como se observa, en este caso por ser demostrativo y pensando en que el programa pueda ser entendido por cualquiera que lo desee leer, se halla sobre identificada cada una de las instrucciones. En un programa real no es necesario repetir la función que va a realizar cada una de las instrucciones, si se repiten bastará con definir las una sola vez, mientras que otras instrucciones ya teniendo cierta experiencia en programación, se sobre entiende cual es el resultado que se obtendrá con una o con otra operación, sin necesidad de explicar con comentarios, el caso descrito en este diseño, por tal motivo, es con fines didácticos, por lo cual tendrá que tomarse en cuenta que como todo programa informático, es necesario resaltar todos los puntos de interés para el diseñador con el fin de que se puedan realizar modificaciones a futuro y sea más fácil ubicar los resultados que se pensaban obtener con el programa de control, por otra parte, si otro diseñador desea realizar cambios en el software le será más fácil.

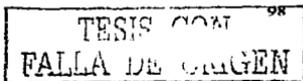
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Algo muy importante en el software de los microcontroladores PIC (no sólo el PIC16C711), es el hecho de que no importa si se configuran primero los puertos como entradas o como salidas, o bien la distribución de las constantes en las diferentes direcciones de memoria, ya que el microcontrolador automáticamente buscará configurarse en primer término y posteriormente continuará su recorrido en el resto del software para ubicar la lógica de las instrucciones, no obstante es recomendable que el programador ubique de forma ordenada y por jerarquías de mayor a menor importancia.

La programación del microcontrolador, como se mencionó al inicio de este capítulo, cuenta con parámetros proporcionados por el fabricante y se hallan en el archivo que tiene el modelo del microcontrolador. Casi al inicio del programa se debe especificar el tipo de microcontrolador que se va a utilizar, aunque es costumbre poner el modelo del microcontrolador al inicio de todo programa esta no es una regla que se deba seguirse al pie de la letra. En este programa se configuraron primero los puertos y posteriormente la memoria del microcontrolador, solamente se tuvo cuidado de respetar los parámetros proporcionados por el fabricante para este microcontrolador (PIC16C711) y posteriormente se cita el modelo de microcontrolador a utilizar por medio de la instrucción: #INCLUDE "P16C711.INC".

La instrucción invoca a un archivo creado por el fabricante, en el cual los puertos, la memoria y todos los componentes que integran al microcontrolador están registrados con identificadores en código hexadecimal, de tal forma que todo archivo auxiliar en la serie PIC estará identificado con la extensión INC. Este tipo de archivos nos permiten programar en forma modular, ya que de querer realizar un programa debidamente clasificado, se pudo haber generado un módulo diferente para cada subrutina del programa desarrollado para el controlador fotovoltáico. Así, se pudo haber puesto por ejemplo: INCLUDE <RETRA.INC>, con lo cual cada que se necesite esa subrutina, el programa que sea el "master" lo invocará las veces que sea necesario, esto ayuda aún más al programador a realizar los cambios necesarios al programa, pues de otra forma si el programa es muy extenso (como el presentado aquí) será muy difícil hallar los datos de importancia que pudieran estar dando problemas en la lógica de operación del microcontrolador o bien, resultaría más difícil realizar actualizaciones en el programa.

Si se observa, el programa tiene cierto orden de alineación, está ordenado de forma similar a una tabla, en columnas. Es aconsejable tener alineadas en una sola hilera las instrucciones, en otra los datos que serán afectados con la instrucción o los parámetros en hexadecimal y finalmente los comentarios. Esta forma de colocar los textos en el programa nos facilitan la ubicación inmediata de las partes que integran al programa, de otra forma sería sumamente difícil (sobre todo si el programa es extenso) identificar los diferentes parámetros del programa.



Aún colocando en forma desordenada los componentes del programa, el microcontrolador los entenderá, ya que no existe una regla de formato para la programación en ese sentido. La única regla existente es que cada instrucción debe estar ubicada en un renglón diferente pues de lo contrario será atendida la instrucción que se halle a la izquierda y las instrucciones que se encuentren después de la instrucción inicial no serán tomadas en cuenta como instrucciones, sino como datos.

Otra regla importante es que nunca debe de utilizarse una instrucción CALL para llamar a otra instrucción que se halle a más de 10 renglones de distancia, pues de lo contrario se presentará el problema de que el microcontrolador no alcance esa distancia y caiga antes en otra instrucción y se pierda dentro del programa. Esto se presenta a partir de que se debe de cubrir un tiempo en microsegundos al pasar de una línea a la otra, pues hay que tomar en cuenta que si estamos utilizando un cristal oscilador de 4 MHz, eso indica que cada instrucción se ejecutará en un microsegundo y un CALL y un GOTO se ejecutarán en 2 microsegundos. Así que un CALL debe efectuarse en menos de 2 microsegundos, de tal forma que si se piensa ir a una línea del programa muy retirada, se recomienda mejor utilizar un GOTO acompañado de una instrucción condicional que nos permita regresar de ese salto en el momento que se desee o bien acrear la línea a la que se desea llama por medio del CALL.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

La elaboración de este trabajo cumple con las cualidades de controlar y automatizar un sistema fotovoltaico y además demuestra las ventajas que tiene el utilizar un componente de alta integración como lo son los microcontroladores. La solución dada al control de un sistema fotovoltaico empleando un controlador fotovoltaico es en sí la misma solución que se podría proporcionar a un cargador de baterías convencional, sólo que en este caso también se debe tener en cuenta el mantenimiento y vida útil de las baterías que se encuentren conectadas a dicho controlador, asimismo se debe tener bajo un control adecuado todas las cargas que se hallen conectadas al controlador fotovoltaico. Todo lo anterior se cumple al utilizar un controlador fotovoltaico que además de eficiente nos resulte económico y de fácil operación.

El diseño que se muestra en este trabajo tiene entre sus cualidades (que son las de controlar las cargas del sistema fotovoltaico) la de proporcionar un mantenimiento periódico a las baterías, lo cual se logra por medio de la homogeneización del electrolito de las baterías, pues uno de los problemas que presenta este tipo de sistemas es que al estar una batería semi-sellada en reposo permanente tiende a acumular residuos que pueden causar averías en las baterías, dichas averías se provocan cuando el nivel de residuos que se desprenden de las celdas es tal, que se produce un corto circuito entre las celdas que se hallan en el interior de las baterías, ya que estos residuos no son otra cosa que óxido desprendido de las rejillas de las celdas. De tal suerte que el método de homogeneización consiste en sobre cargar a las baterías para hacer que el electrolito hierva por sobre calentamiento en las mismas celdas, al haber ebullición el residuo que se halla en la parte inferior de las baterías acumulado tiende a moverse de un lado a otro, evitando con esto su acumulación en un solo punto.

Si bien la homogeneización ayuda a que no se acumulen los residuos, se debe tener cuidado de no hacer tal acción de forma continua, pues sobre calentar las baterías les resta vida útil, eso explica el hecho de que en el software que se utiliza en este proyecto dicha operación se efectúe sólo cada 30 días, de ahí la razón de la "subrutina de días" que no es otra cosa que un contador de días. En la actualidad los sistemas fotovoltaicos siguen estando en una etapa experimental pues aún no existen estándares que definan con precisión los voltajes necesarios para una mayor eficiencia y mayor durabilidad de las baterías, incluso los fabricantes de las baterías no cuentan con dicha información, el proyecto que se desarrolla en este trabajo esta ideado para baterías de plomo ácido.

las cuales son semi-selladas o abiertas, se aclara lo anterior debido a que existen baterías especiales conocidas como "baterías de gel" las cuales son selladas y de mayor vida útil pero son demasiado costosas. El utilizar baterías semi-selladas permite que un sistema fotovoltaico esté al alcance de la mayoría de la gente, pues dichos sistemas se utiliza en su mayoría en las zonas rurales (sobre todo en México), por lo cual el proyecto planteado en este trabajo tiene además de la finalidad de automatizar y controlar, busca el hacer económico todo el sistema fotovoltaico pues en zonas rurales no se cuenta con el poder adquisitivo necesario para conseguir este tipo de sistemas.

Para finalizar, dicho proyecto tiene la cualidad de poder ser actualizado y mejorado con solo modificar los parámetros de voltaje del software pues cuenta con la ventaja de que los componentes circundantes al microcontrolador están sobrados y con el sólo hecho de modificar la tabla de valores, este dispositivo puede llegar a ser para sistemas de hasta 24 voltios. La cantidad de corriente que maneja dependerá siempre de los componentes de salida que en este caso son los transistores MOSFET, los cuales pueden soportar hasta 50 amperios, pero que sólo puede conectárseles una carga de hasta 30 amperios y por si fuera poco, por el hecho de que dichos transistores cuentan con un diodo entre el drenador y el surtidor, evitan que el controlador fotovoltaico sufra daños por polaridad invertida (conexión invertida de las baterías). El ahorro como se observa, se halla en la etapa de potencia, esto en cuanto a consumo de corriente se refiere, pues se están utilizando transistores MOSFET en lugar de relevadores o componentes de potencia del tipo TTL.

Todos los detalles en un diseño en general deben ser cuidadosamente analizados, procurando en lo mayor posible utilizar componentes electrónicos económicos y que nos ofrezcan grandes ventajas pues aunque a veces parezca que un componentes es costoso se debe evaluar las ventajas que dicho dispositivo ofrece y si a parte de ser funcional en lo que se va a aplicar ofrece ventajas adicionales (el caso de la protección contra polaridad invertida), dicho componentes valdrá la pena de ser utilizado como parte de un proyecto de diseño, en caso contrario se deberá de desistir en su uso, que es prácticamente en lo que se halla enfocado éste trabajo, que además de sencillo, práctico y económico, pretende ser eficiente y versátil.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

Manual T MOS Power MOSFET Transistor Device Data

Aut.: Motorola

Sexta edición

Manual Discrete Semiconductor Products

Aut.: National Semiconductor Corporation

Año edición: 1989

Manual Small Signal: Transistors, FETs and Diodes Device Data

Aut.: Motorola

Sexta edición

Año edición: 1997

Manual PIC16C711

Aut.: MICROCHIP

Primera edición

Año edición: 2001

Archivo electrónico Data Disc 1

Aut.: STMicroelectronics (Thomson)

Primera edición

Año edición: 2000

Electricidad y electrónica: Aplicaciones prácticas

Tomo III

Aut.: Huan, Malvino y Schmitt

Primera edición

Edit. Mc. Graw Hill

Archivo electrónico Data Book

Aut.: Siemens Matsushita Components

Año edición: 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN