

41126
123



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

"DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN VEHICULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS CONTROLADO POR CIRCUITOS INTEGRADOS PROGRAMABLES (PIC's), Y ALIMENTADO POR TIRISTORES"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA: ELÉCTRICA-ELECTRONICA
P R E S E N T A :
RUBEN DARIO VELAZQUEZ ORTIZ

ASESOR : ING. JESÚS NÚÑEZ VALADEZ

MÉXICO

TESIS CON
F. DE ORIGEN

2003
1





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN**

DIRECCIÓN

**RUBEN DARIO VELAZQUEZ ORTIZ
PRESENTE.**

En contestación a la solicitud de fecha 6 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JESÚS NÚÑEZ VALADEZ pueda dirigirse al trabajo de tesis denominado "DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS CONTROLADO POR CIRCUITOS INTEGRADOS PROGRAMABLES (PIC's), Y ALIMENTADO POR TIRISTORES", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 9 de enero de 2003
LA DIRECTORA

Lilia Turcott González
ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



- Cp Secretaria Académica.
Cp Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
Cp Asesor de Tesis.

LTG/AIR/ma.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
 SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. RAÚL BARRÓN VERA
 Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,
 Presente.

En atención a la solicitud de fecha 20 de marzo del año en curso, por la que se comunica que el alumno RUBEN DARIO VELAZQUEZ ORTIZ, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS CONTROLADO POR CIRCUITOS INTEGRADOS PROGRAMABLES (PIC's), Y ALIMENTADO POR TIRISTORES", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
 San Juan de Aragón, México, a 24 de marzo de 2003
 EL SECRETARIO

Lic. ALBERTO BARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.
 C p Interesado.

AIRA:

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN – UNAM**

**JEFATURA DE CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

OFICIO: ENAR/JAME/0175/03.

ASUNTO: Revisión Previa de Tesis. antes de
Autorizar su Impresión.

*

ING. JESÚS NÚÑEZ VALADEZ (ASESOR) *J. Valadez*
ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO *A. Paredes*
ING. FRANCISCO APOLONIO ARISTA PATIÑO *F. Arista*
ING. NOÉ GONZÁLEZ ROSAS –
ING. JORGE ANTONIO RODRÍGUEZ LUNA *J. Rodríguez*

*

En forma anexa le hago entrega de un ejemplar del proyecto de tesis titulado "DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS CONTROLADO POR CIRCUITOS INTEGRADOS PROGRAMABLES (PIC's), Y ALIMENTADO POR TIRISTORES", del alumno RUBÉN DARÍO VELÁZQUEZ ORTIZ, con número de cuenta 9416368-5.

Esto con el fin de que sea revisada por usted, y nos dé su evaluación y comentarios por escrito, mismos que le pido me haga llegar a la brevedad posible.

Agradezco de antemano su colaboración y aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Bosques de Aragón, Estado de México, 6 de marzo del 2003.
EL SECRETARIO TÉCNICO

J. García Espinosa
ING. JOSÉ LUIS GARCÍA ESPINOSA

c.c.p. Alumno
JLGE/scd

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4

AGRADECIMIENTOS:

Al Ing. Jesús Núñez Valdez.

Por el tiempo dedicado a la dirección y revisión de este trabajo.

Al Ing. Noé González Rosas.

Con infinita gratitud, por su apoyo y consejos para realización mi trabajo de tesis.

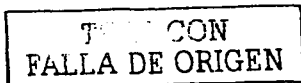
A los Ingenieros:

Francisco Apolonio Arista Patiño, Jorge Antonio Rodríguez Luna,

Adrián Paredes Romero, David Moisés Terán Pérez

Rodolfo Zaragoza Buchain y Sergio Ramírez Ramírez.

Gracias por todo su apoyo.



A mi Madre:

María Irma Ortiz de los Santos

Eres la persona que día con día y desde que me llevaste en tu vientre recibí amor, cariño y ternura ante las adversidades.

El día que me llevaste por primera vez a la escuela nunca dejaste de creer en mí a pesar de mis errores, tu fortaleza, desvelos y preocupaciones por mí no puedo pagártelos con nada, he recibido tantas muestras de amor y cariño de ti a veces sin merecerlas lo único que puedo ofrecerte es mi eterna gratitud y los momentos en que te sientas orgullosa de mí y el título que gracias a ti he logrado.

A mi Padre:

Vicente Velázquez Ramos

Por haber estado conmigo en todos los momentos de mi vida y por tu motivación personal y apoyo en mis estudios.

A mis Hermanos:

***Adrián Vicente Velázquez Ortiz
Héctor Gustavo Amin Velázquez Ortiz***

Por el apoyo incondicional en el transcurso de mi vida y por estar en los mejores y peores momentos muchas gracias hermanos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mis Tías:

***Rosario de Lourdes Ortiz De los Santos.
Silvia Ortiz De los Santos.
Elena Ortiz De los Santos.***

Les agradezco por el apoyo incondicional y su motivación personal en el transcurso de mi vida y por preocuparse por mí y aconsejarme en momentos difíciles.

A mi Tío:

Alfredo Antonio Ortiz De los Santos.

Agradezco por su ayuda en el ámbito académico por estar en los momentos que mas te necesite y recibir tu ayuda en la escuela durante mis estudios.

Estoy muy agradecido por tener una familia como la mía, a todos muchas gracias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7

INTRODUCCIÓN.

El avance de la electrónica desde la invención del transistor, ha traído consigo el desarrollo de nuevas tecnologías en dispositivos semiconductores, desde circuitos integrados de Baja Escala de Integración (LSI) como son las compuertas básicas, hasta dispositivos de Ultra Alta Escala de Integración (UHSI) como son los Microprocesadores que se encuentran en los Ordenadores Personales. Estos últimos han sido incorporados a la vida cotidiana de el Hombre; sin embargo, su misma arquitectura y elevado desempeño, los hace costosos y complejos en tareas sencillas de automatización.

Esto creó la necesidad de desarrollar dispositivos que se emplean en funciones específicas, que sean rápidos y económicos. La respuesta a esta necesidad fue el Microcontrolador y es quizá, el componente electrónico más versátil que existe; ya que cada vez es más frecuente encontrar aparatos que los utilizan como elemento de control. Por ejemplo en las cafeteras eléctricas, los hornos de micro-ondas, los televisores, las videograbadoras, teléfonos celulares, conmutadores telefónicos, sistemas de encendido de automóviles, controles de temperatura, por mencionar tan sólo algunas de esas aplicaciones.

Sin embargo, existen muchas ramas en las que esta innovación tecnológica no ha sido aplicada, de ahí la importancia de conocer y aprender a manejar estos dispositivos. Un eficiente uso, manejo y aplicación de microcontroladores son herramientas necesarias para enfrentar el reto que impone la creciente necesidad de modernización tecnológica y para satisfacer la industria de México, que requiere personal idóneo en el área de diseño y desarrollo.

Con el objetivo de crear bases didácticas en el manejo y empleo de microcontroladores, este trabajo es la propuesta de un sistema de entrenamiento para la Universidad Nacional Autónoma de México, en la que se ha elegido una familia de microcontroladores: los Microcontroladores PIC de la Empresa *Microchip Technology Inc.*, y específicamente, el PIC16F84.

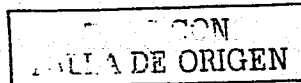
ESTE CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVO GENERAL.

Establecer los criterios fundamentales para el Diseño del Prototipo de un Vehículo Eléctrico de Pasajeros controlado por Circuitos Integrados Programables y Alimentado por Tiristores.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- 1.- Establecer los Conceptos Generales sobre Sistemas de Control.
- 2.- Establecer las Generalidades sobre los Circuitos Tiristores.
- 3.- Establecer las características de un Sistema de Control basado en Circuitos Integrados Programables (PIC' s).
- 4.- Establecer las características del Diseño del Vehículo.



CAPÍTULO I.

CONCEPTOS GENERALES

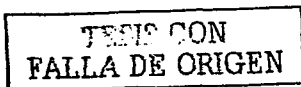
1.1.- Microcontroladores.

El desarrollo de la electrónica con cada nuevo dispositivo de estado sólido trae consigo, técnicas de diseño diferentes, que por lo general son más simples. Por ejemplo, en los años 60, para construir un reloj con indicación digital, se necesitaba acoplar una cantidad grande de circuitos lógicos como: contadores, divisores, decodificadores y redes combinatorias. Al mismo tiempo, el diseñador debía poseer conocimientos muy claros sobre cada uno de los elementos, para realizar con éxito la integración.

A partir de 1970, el panorama digital cambió radicalmente cuando apareció en la mesa de los diseñadores un nuevo supercomponente: **El Microprocesador**. Consolidadas las técnicas digitales se creó la necesidad de profundizar en el estudio de las estructuras de los microprocesadores, memorias, tecnologías de integración, conjunto de instrucciones, programación en lenguaje de máquina y adaptación de periféricos. Es la época de oro del 8080, el Z-80, el 6809, el 6502 entre otros, utilizados como circuitos centrales en las aplicaciones de control y que ahora forman parte de un museo de circuitos electrónicos.

Aproximadamente en 1980, los fabricantes de circuitos integrados iniciaron la difusión de un nuevo circuito para control, medición e instrumentación, al que llamaron Microcomputador en un solo Circuito Integrado ("*Microchip*") o bien, Microcontrolador; es decir, que un microcontrolador, es un circuito integrado de alta escala de integración que contiene toda la estructura (Arquitectura) de un microcomputador, o sea, CPU ("*Central Process Unit*" o Unidad Central Proceso), RAM ("*Random Access Memory*" o Memoria de Acceso Aleatorio), ROM ("*Read Only Memory*" o Memoria de Sólo Lectura) y circuitos de E/S ("*Input/Output*" o Entrada/Salida), todo programable y alojado en un solo bloque de silicio, cerámica y materiales conductores.

El Microcontrolador es un computador dedicado, porque en su memoria solo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de E/S 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.



1.1.1. Diferencia entre un Microcontrolador y un Microprocesador.

Se comprende mejor la diferencia entre ambos componentes, si se estudia el proceso de diseño a partir de un microprocesador, el cual involucra los siguientes pasos:

- Y Selección de los circuitos.
- Y Mapa de memoria y de E/S, (Entradas/Salidas).
- Y Diseño del circuito decodificador de direcciones.
- Y Montaje del circuito y del programa en la ROM.

En esta clase de circuitos con microprocesador, es fundamental el diseño de la red lógica que decodifica el bus de direcciones, para asignarle a cada memoria o puerto de E/S su posición dentro del mapa de memoria, planificado en el diseño. En la figura 1.1 se presenta el diagrama a bloques de un sistema mínimo necesario en el diseño de control con microprocesador.

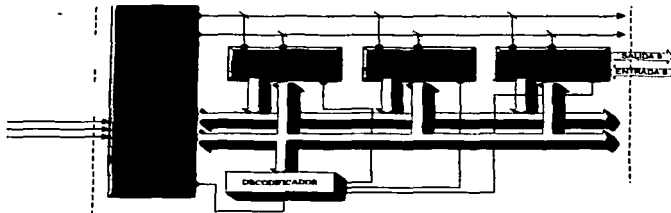


Figura 1.1 Microcomputador Implementado con Microprocesador Z-80.

Obsérvese la estructura o arquitectura resultante: está compuesta por las partes básicas de todo computador (CPU, RAM, ROM, E/S) interconectadas por tres tipos de buses¹ (direcciones, datos, control). En la memoria ROM se debe escribir el programa de control que le dará "vida" al computador. Observe también como los tres buses quedan a disposición del usuario para expansiones futuras de memoria y puertos de E/S.

¹ Bus: se entiende como un grupo de líneas de conexión común entre dispositivos, ya sean internos o externos

Hasta hace unos años, todo circuito de control, como el que se expone, se constituía utilizando un sistema mínimo de computador similar al de la figura 1.1. Ahora la estrategia es diferente.

Lo que muestra la figura 1.1 es el carácter constante y permanente de la estructura de un microcomputador en las aplicaciones de control, medición e instrumentación. No es difícil comprender, entonces, porqué los fabricantes de circuitos integrados decidieron producir un supercomponente que contiene todos los elementos de un computador en un solo circuito integrado ("chip").

En la figura 1.1 se demarca con una línea punteada, los componentes básicos de un computador que integra un microcontrolador en un solo circuito. La idea de un microcomputador, para el diseñador de controles, se limita, ahora, a algo similar a lo que se ilustra en la figura 1.2. Se necesita solamente alimentación de corriente continua (Vc-c), un cristal o una red RC externa para definir la frecuencia de operación, grabar el programa de control en la memoria ROM, y ya se tienen listos los puertos de entrada y salida para hacer conexión con el mundo exterior.

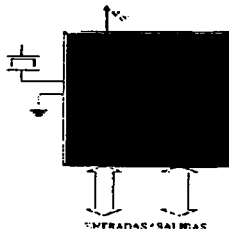


Figura 1.2 Idea General de un Microcontrolador.

¿Cuáles son las diferencias más notables entre un microcomputador realizado con microprocesador y uno con microcontrolador? Hay varias y las ventajas existen para las dos partes. Es mejor decir que cada uno tiene su ubicación especial dentro de las aplicaciones electrónicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- La CPU del microcontrolador es más simple, y sus instrucciones están orientadas más que todo a la operación de cada uno de los bits de entrada y salida. Sin embargo, la estructura de la mayoría de los microprocesadores tiene su correspondiente versión de microcontrolador en el mercado.
- La memoria RAM de datos que ofrecen estos elementos es mínima. La razón es simple: las aplicaciones de control e instrumentación primitivas no necesitan almacenar grandes cantidades de información temporal.
- La memoria ROM del programa es limitada. Por lo general, no mayor a 4 Kilobytes.

No es necesario diseñar circuitos decodificadores complejos porque el mapa de memoria y de puertos E/S, está implícito en el controlador. Por esta razón el circuito impreso de las aplicaciones es muy simple, en algunas ocasiones puede llegar a ser de una cara.

La mayoría de los microcontroladores tienen dificultad para entregar al usuario los buses de direcciones, de datos y de control de la CPU, como lo hace fácilmente el sistema de la figura 1.1. Algunos controladores lo hacen a través de los puertos de Entrada/Salida, utilizando señales especiales de sincronización. Estos buses y señales se pueden emplear para implementar expansión de memoria RAM y ROM por fuera del microcontrolador.

La velocidad de operación de los microcontroladores es más lenta que la que se puede lograr con los sistemas de microprocesadores. Sin embargo, hay noticias del desarrollo de circuitos controladores que funcionarán por encima de los 50 MHz.

De manera similar a los sistemas utilizados con los microprocesadores para escribir, ensamblar y depurar programas en lenguaje de máquina, se requiere un sistema de desarrollo para cada familia de microcontroladores; éste, está compuesto por un Paquete de Programas ("Software") con editor, ensamblador y simulador de programas y al mismo tiempo se necesita una Arquitectura de Sistemas ("Hardware") para grabar la memoria EPROM del microcontrolador.

1.1.2.- Recursos Comunes de los Microcontroladores.

Al estar todos los microcontroladores integrados en un circuito ("chip"), su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales:

- 1.- Procesador.
- 2.- Memoria no volátil (ROM).
- 3.- Memoria temporal (RAM).
- 4.- Líneas de PO.
- 5.- Oscilador de reloj.

1.- Arquitectura básica.

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la **Arquitectura clásica de Von Neuman**, pero, en el momento presente, se impone la **Arquitectura Harvard**.

La Arquitectura de Von Neuman se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control), figura 1.3.

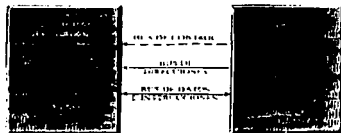


Figura 1.3 En la Arquitectura de Von Neuman la Memoria Contiene Indistintamente Datos e Instrucciones.

La Arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes: una que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias. Lo anterior se muestra en la figura 1.4.



Figura 1.4 La Arquitectura Harvard Dispone de dos Memorias para Instrucciones, permitiendo Accesos Simultáneos.

Los microcontroladores PIC, a los cuales pertenece la familia del microcontrolador seleccionado para este trabajo, utilizan este último tipo de arquitectura (Harvard).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.- El Procesador o CPU.

El procesador o CPU es el elemento más importante dentro del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel de Arquitectura de Sistemas (*"Hardware"*), como de los Paquetes y Programas (*"Software"*).

Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de operación de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores

a). **CISC.** Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (*"Complex Instruction Set Computer"* o Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy complejas y potentes, requiriendo muchos ciclos de reloj para su ejecución. Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como subrutinas.

b). **RISC.** Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están orientándose hacia la filosofía RISC (*"Reduced Instruction Set Computer"* o Computador de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

Un circuito de tipo RISC aumenta el rendimiento del computador con el efecto del paralelismo implícito, que consiste en la segmentación del procesador (*"pipeline"*), 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, como el que poseen los microcontroladores PIC, se debe a la conjunción de tres técnicas:

- ❖ Arquitectura Harvard.
- ❖ Arquitectura RISC.
- ❖ Segmentación.

c). **SISC.** En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas el juego de instrucciones, además de ser reducido es específico, o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (*"Specific Instruction Set Computer"* o Computador de Juego de Instrucciones Específico).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.- Memoria no Volátil (ROM).

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 5 versiones diferentes:

a) **ROM con Máscara.** Es una memoria no volátil de solo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del circuito de memoria. El elevado costo del diseño de la máscara solo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.

b) **OTP ("One Time Programmable").** El microcontrolador contiene una memoria no volátil de solo lectura programable una sola vez por el usuario. Es el usuario quien puede escribir el programa en el circuito mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un Ordenador. La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien en la construcción de prototipos y series muy pequeñas.

c) **EPROM ("Erasable Programmable Read Only Memory" o Memoria de Solo Lectura Borrable y Programable).** Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza como en el caso de los OTP con un grabador gobernado por un Ordenador. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido de la memoria; disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las cápsulas son de material cerámico y son más caras que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.

d) **EEPROM ("Electrical Erasable Programmable Read Only Memory" o Memoria de Solo Lectura Borrable y Programable Eléctricamente).** Se trata de memorias de solo lectura, programables y borrrables eléctricamente. Tanto la programación como el borrado, se realiza eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un Ordenador.

Los microcontroladores dotados de memoria EEPROM, una vez instalados en el circuito, pueden borrarse y grabarse cuantas veces se quiera sin ser retirados de dicho circuito. Para ello, se usan "grabadores en circuito" que confieren una gran flexibilidad y rapidez a la hora de realizar modificaciones en el programa de trabajo. El número de veces que puede borrarse y grabarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos en la enseñanza y en la ingeniería de diseño.

Se va extendiendo en los fabricantes la tendencia a incluir una pequeña zona de memoria EEPROM en los circuitos programables para guardar y modificar cómodamente una serie de parámetros que adecuan el dispositivo a las condiciones del entorno. Este tipo de memoria es relativamente lenta.

CON
FALLA DE ORIGEN

e). **FLASIL.** Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM, pero consume menos potencia y es más pequeña. A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM.

La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

4.- Memoria Temporal (RAM).

Los datos que manejan los programas varían continuamente, y esto exige que la memoria que los contiene deba 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 eléctrica, no ocasiona la pérdida de la información, que está disponible al reiniciarse el programa. El PIC 16C84, el 16FS3 y el 16F84 disponen de 64 bytes de memoria EEPROM para contener datos.

5.- Puertos de I/O. (Entrada/Salida).

La principal función de las terminales que posee la cápsula de un microcontrolador, es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores. Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control; dichas señales manejan información en paralelo (transmisión y/o recepción de todos los bits de datos en un ciclo de reloj), y se agrupan en conjuntos de ocho que reciben el nombre de puertos. Hay modelos con líneas que soportan la comunicación en serie (transmisión y/o recepción de un "bit" de datos en un ciclo de reloj); otros disponen en conjuntos de líneas que implementan puertos de comunicación para diversos protocolos, como el USB ("Universal Serial Bus" o Bus Serial Universal).

6.- El reloj Principal.

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C (Resistencia-Capacitor).

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones, pero lleva en consecuencia un incremento de consumo de energía.

ESTE CON
FALLA DE ORIGEN

1.1.3. 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. Así mismo, el objetivo del diseñador es encontrar el modelo óptimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación con un costo mínimo. Entre los recursos auxiliares se destacan los siguientes:

- 1.- Temporizadores o "Timers". Se emplean para controlar períodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).
- 2.- Convertidores Analógico / Digital (ADC) y Digital / Analógicos (DAC). Se emplean para auxiliar al microcontrolador en el procesamiento de señales analógicas.
- 3.- Comparadores analógicos. El microcontrolador dispone de un Amplificador Operacional para verificar el valor de una señal analógica.
- 4.- Protección ante fallos de alimentación. Se trata de un circuito que reinicia al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (V_p) es inferior a un nivel de voltaje mínimo.
- 5.- Estado de reposo o de bajo consumo. Es un estado en el que el sistema queda congelado y el consumo de energía se reduce al mínimo.
- 6.- Generador de PWM ("Pulse Wide Modulation" o Modulación por Ancho de Pulso). Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de ancho variable, que se ofrecen al exterior a través de las terminales de conexión.

1.2. Familias de PIC's.

En 1965, la Empresa G1 creó una división de microelectrónica, "G1 Microelectronics Division", que comenzó su historia fabricando memorias EPROM y EEPROM, que conformaban las familias AY3-XXXX y AY5-XXXX.

A principios de los años 70 diseñó el microprocesador de 16 bits CP1600, razonablemente bueno, pero que no manejaba eficazmente las E/S (Entradas/Salidas). Para solventar este problema, en 1975 diseñó un Circuito Integrado destinado a controlar E/S: el PIC ("Peripheral Interface Controller"). Se trataba de un controlador rápido pero limitado y con pocas instrucciones, pues iba a trabajar en combinación con el CP1600.

La arquitectura del PIC, que se comercializó en 1975, era sustancialmente la misma que la de los actuales modelos PIC 16C5X. En aquel momento se fabricaba con tecnología NMOS (Lógica de transistores MOSFET² canal N) y el producto sólo se ofrecía con memoria ROM y con un pequeño pero robusto microcódigo.

² MOSFET ("Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor" o Transistor de Efecto de Campo de Semiconductor de Metal Oxido) que comúnmente se conoce como FET de compuerta aislada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La década de los 80 no fue buena para G1 que tuvo que reestructurar sus negocios, concentrando sus actividades en los semiconductores de potencia. La *G1 Microelectronics Division* se convirtió en una empresa subsidiaria, llamada *G1 Microelectronics Incorporation*.

Finalmente, en 1985, la Empresa fue vendida a un grupo de inversionistas con capital de riesgo, los cuales, tras analizar la situación, rebautizaron a la Empresa con el nombre de *Arizona Microchip Technology* y orientaron su negocio a los PIC, las memorias EPROM paralelo y las EEPROM serie. Se comenzó rediseñando los PIC, que pasaron a fabricarse con tecnología CMOS ("*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*") o Semiconductor Complementario de Metal Oxido), surgiendo la familia de gama baja PIC16C5X, considerada como la clásica.

Una de las razones del éxito de los PIC se basa en su utilización. Cuando se aprende a manejar uno de ellos conociendo su arquitectura y su repertorio de instrucciones, es muy fácil emplear otro modelo. Hasta 1997 *Microchip* disponía de 52 versiones diferentes de PIC's y cada año aumenta considerablemente su lista.

Microchip dispone de cuatro familias de microcontroladores de 8 bits para adaptarse a las necesidades de la mayoría de los clientes potenciales, dichas familias se describen a continuación.

1.2.1. Gama Miniatura.

Se trata de un grupo de PIC de reciente aparición que ha acaparado la atención en el mercado. Su principal característica es su reducido tamaño, al disponer todos sus componentes en un encapsulado de 8 terminales. Se alimenta con un voltaje de corriente continua comprendido entre 2.5 V y 5.5 V, y consume menos de 2 mA cuando trabaja a 5 V y 4 MHz. El formato de sus instrucciones puede ser de 12 ó 14 bits y su repertorio es de 33 ó 35 instrucciones, respectivamente. En la figura 1.5 se muestra el diagrama de distribución de terminales de uno de los miembros de esta familia.

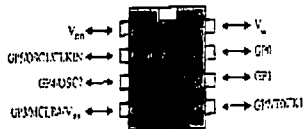


Figura 1.5 Diagrama de Terminales de los PIC12CXX de la Gama Miniatura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Nota: Aunque los PIC miniatura sólo tienen 8 terminales, pueden destinar hasta 6 como líneas de E/S para los periféricos porque disponen de un oscilador interno RC.

En la Tabla 1.1 se presentan las principales características de los modelos de esta familia. Los modelos PIC12C5XX pertenecen a la gama baja, siendo el tamaño de las instrucciones de 12 bits; mientras que los PIC 12C6XX son de la gama media y sus instrucciones tienen 14 bits; pero se clasifican en esta gama debido al número de terminales, aún cuando sus prestaciones son superiores. Los modelos PIC 1 2F6XX poseen memoria Flash para el programa y EEPROM para los datos.

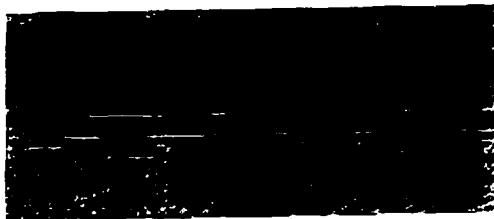


Tabla 1.1 Características de los Modelos PIC12C(F)XXX de la Gama Miniatura.

1.2.2. Gama Baja.

Se trata de una familia de PIC de recursos limitados, pero con una de las mejores relaciones costo / prestaciones. Sus versiones están en encapsulados de 18 (figura 1.6) y hasta 28 terminales y pueden alimentarse a partir de una tensión de 2.5 V, lo que los hace ideales en las aplicaciones que funcionan con baterías. Tienen un repertorio de 33 instrucciones cuyo formato consta de 12 bits. No admiten ningún tipo de interrupción y la pila³ solo dispone de dos niveles. En la Tabla 1.2 se presentan las características más importantes de los modelos que comprenden esta familia.

³ Memorias Pila (LIFO): Son memorias de acceso serie en las que la información que entra en la última operación de escritura es la que sale en la primera operación de lectura que se realice (Last In-First Out)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

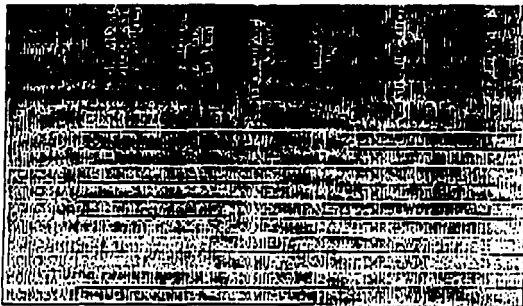


Tabla 1.2 Principales Características de los Modelos de Gama Baja.

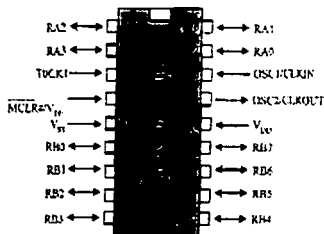


Figura 1.6 Diagrama de Terminales del PIC de Gama Baja 16C54/56.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2.3. Gama Media.

Es la gama más variada y completa de los PIC. Abarca modelos con encapsulados desde 18 terminales (figura 1.7) hasta 68 terminales, cubriendo varias opciones que integran abundantes periféricos. El repertorio de instrucciones es de 35 de 14 bits cada una y compatible con el de la gama baja. Sus distintos modelos contienen todos los recursos que se precisan en las aplicaciones de los microcontroladores de 8 bits. También disponen de interrupciones y una pila de 8 niveles que le permite el anidamiento de subrutinas.

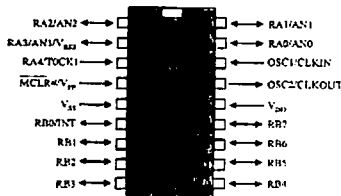


Figura 1.7 Diagrama de Terminales del PIC16C71 de la Gama Media.

La gama media puede clasificarse en las siguientes subfamilias:

- Gama Media Estándar (PIC 16C5 5X). Gama media con comparador analógico (PIC 16C62X/64X/66X).
- Gama media con módulos de captura, modulación de ancho de pulso y puerto serie CPIC16C6X).
- Gama media con convertidor analógico-digital de 8 bits (PIC16C7X).
- Gama media con convertidor analógico-digital de precisión (PIC 14000). Gama media con memoria Flash y EEPROM (PIC 1 6X8X).
- Gama media con controlador para LCI) ("Liquid Crystal Display" o Pantalla de Cristal Líquido).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Encuadrado en la gama media también se halla la versión PIC14CO00, que soporta el diseño de controladores inteligentes para cargadores de baterías, pilas pequeñas, fuentes de alimentación ininterrumpibles y cualquier sistema de adquisición y procesamiento de señales que requiera la gestión de energía de alimentación. Los PIC14CO00 admiten cualquier tecnología de las baterías como NiCd (Níquel-Cadmio), Pb (Plomo) y Zinc. La Tabla 1.3 describe las características principales de los modelos PIC16X8X.

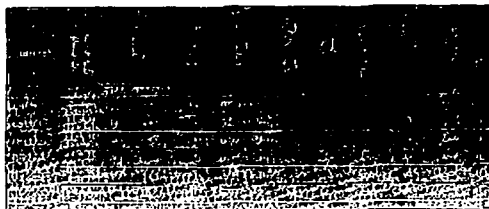


Tabla 1.3 Características Relevantes de los Modelos PIC16XXX de la Gama Media

Nota: En la nomenclatura de la subfamilia 16XXV, C significa que la memoria de instrucciones es EEPROM; F significa que la memoria de instrucciones es del tipo Flash y CR significa que la memoria de instrucciones es ROM y se graba desde fábrica, y sólo se usa para grandes series.

1.2.4. Gama Alta.

Se alcanzan las 58 instrucciones de 16 bits en el repertorio de instrucciones y sus modelos disponen de un sistema de gestión de interrupciones vectorizadas muy potente. También incluyen variados controladores de periféricos, puertos de comunicación serie y paralelo con elementos externos y un multiplicador "Hardware" de gran velocidad.

Quizá la característica más destacable de los componentes de esta gama es su arquitectura abierta, que consiste en la posibilidad de ampliación del microcontrolador con elementos externos. Para este fin, las terminales tienen a disposición las líneas de los buses de datos, direcciones y control, a las que se conectan memorias o controladores de periféricos. Esta filosofía de construcción del sistema es la que se emplea en los microprocesadores y no suele ser una práctica habitual cuando se emplean microcontroladores.

En la Tabla 1.4 se muestran las características más relevantes de los modelos de esta gama, que sólo se emplean en aplicaciones muy especiales con grandes requerimientos y en la figura 1.8 el diagrama de terminales de un miembro de la gama alta.

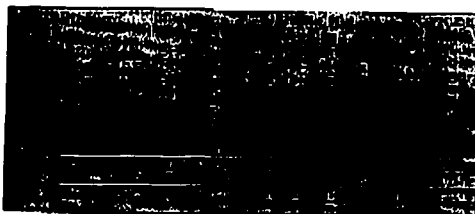


Tabla 1.4.- Características más Destacadas de los Modelos PIC17CXXX de la Gama Alta.

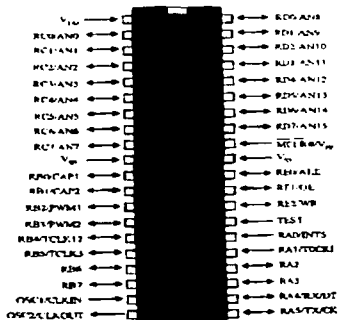


Figura 1.8 Diagrama de Terminales del PIC17C de Gama Alta.

TESIS CON
LLA DE ORIGEN

Con vistas al siglo XXI, *Microchip* ha lanzado la serie mejorada PIC 18CXXX

En resumen, en la tabla 1.5 se presentan los parámetros que mejor representan y diferencian las cuatro familias de PIC.

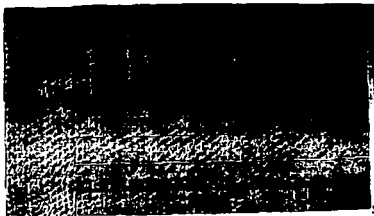


Tabla 1.5 Principales Características que Distingue a las Cuatro Gamas de Microcontroladores PIC.

1.3 Recursos Comunes de los PIC's.

A pesar de las diferencias entre familias de microcontroladores PIC, existen recursos en común entre ellos como son: operación de las frecuencias de trabajo y circuitos osciladores, dichos recursos se describen a continuación.

1.3.1. El Reloj y Frecuencia de Trabajo.

La frecuencia de trabajo del microcontrolador es un parámetro fundamental al momento de establecer la velocidad en la ejecución de las instrucciones y el consumo de energía.

Cuando un PIC 16X8X funciona a 10 MHz, que es su máxima frecuencia, le corresponde un ciclo de instrucción de 400 ns, puesto que cada instrucción tarda en ejecutarse cuatro periodos de reloj, o sea, $(4) (100 \text{ ns}) = 400 \text{ ns}$. Todas las instrucciones del PIC se realizan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan el doble.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los impulsos de reloj que entran por la terminal OSC1/CLKIN y se dividen por 4 internamente, dando lugar a las señales Q1, Q2, Q3 y Q4, mostradas en la figura I.9.

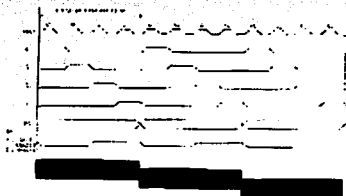


Figura I.9.- Cronograma de reloj y ciclo de instrucción.

Figura I.9.- Cronograma de Reloj y Ciclo de Instrucción.

Durante un ciclo de instrucción, que comprende las cuatro señales mencionadas, se desarrollan las siguientes operaciones:

- Q1: Durante este impulso se incrementa el Contador de Programa (PC).
- Q2: Durante este impulso se busca el código de la instrucción en la memoria del programa y se carga en el Registro de Instrucciones.
- Q3-Q4: Durante la activación de estas dos señales se produce la decodificación y la ejecución de la instrucción.

En realidad cada instrucción conlleva dos ciclos de instrucción, el primero destinado a la fase de búsqueda y el otro a la fase de ejecución. Sin embargo, la estructura segmentada del procesador permite realizar simultáneamente la fase de ejecución de una instrucción y la de búsqueda de la siguiente. Cuando la instrucción ejecutada corresponde a un salto, no se conoce hasta completarla por lo que se sustituye la fase de búsqueda por una instrucción NOP (No Operar) mientras se ejecuta un salto. Esta característica se muestra gráficamente en la figura I.10 y en ella se puede apreciar cómo las instrucciones de salto precisan un ciclo más.

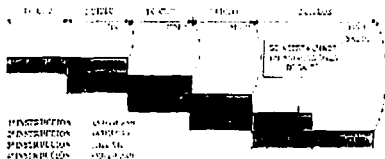


Figura I.10.- Fase de Búsqueda y Ejecución.

Para el funcionamiento del circuito de reloj interno se precisa colocar en el exterior una fuente de señal con una frecuencia fija disponiendo los microcontroladores PIC de dos terminales para soportar dicha señal:

OSC1/CLKIN: Es una terminal a la que se conecta la señal de entrada de la fuente externa de frecuencia, que puede estar implementada por un cristal de cuarzo, por una resistencia y un capacitor cerámico, o una red RC.

OSC2/CLKOUT: Se trata de una terminal de conexión de la salida de cristal externo.

Tipos de Osciladores

Los PIC admiten cuatro tipos de osciladores externos que le proporcionan la frecuencia de funcionamiento. El tipo empleado debe especificarse en dos bits (FOSC1 y FOSC2) de la Palabra de Configuración que se analizará posteriormente.

1.- Oscilador Tipo RC.- Se trata de un oscilador de bajo costo, formado por una simple resistencia (REXT) y un condensador (CEXT). Proporciona una estabilidad mediana de la frecuencia, cuyo valor depende de los dos elementos de la red RC, la configuración de este oscilador se muestra en la figura I.11.



Figura I.11 Esquema del Oscilador Tipo RC, se Indican los Valores de los Elementos R ext y C ext para Obtener Algunas de las Frecuencias de Oscilación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En esta configuración, en la terminal OSC2/CLKOUT se obtiene la cuarta parte de la frecuencia de oscilación, delimitando los ciclos de instrucción. En esta alternativa la empresa *Microchip* recomienda usar una R ext con un valor comprendido entre 5 M Ω y 100 M Ω , y un C ext con más de 20 pF.

2.- Oscilador Tipo HS ("High Speed" o Alta Velocidad)

Se trata de un oscilador que alcanza una alta velocidad comprendida entre 8 MHz y 20 MHz, y está basado en un cristal de cuarzo o un resonador cerámico.

3.- Oscilador Tipo XT ("Xtal" o Cristal)

Es un oscilador de cristal o resonador para frecuencias estándar comprendidas entre 100 kHz y 4 MHz.

4.- Oscilador Tipo LP ("Low Power" o Baja Potencia).

Es un oscilador de bajo consumo con cristal o resonador diseñado para trabajar en un rango de frecuencias comprendido entre 32 kHz y 200 kHz.

Para cualquiera de las versiones de osciladores HS, XT o LP, el cristal de cuarzo o resonador cerámico se coloca entre las terminales OSC1 y OSC2, como se muestra en la figura 1.12, y en la Tabla 1.6 se muestran; según el tipo de oscilador usado y el rango de frecuencia, los valores de los condensadores sugeridos para obtener algunas frecuencias de trabajo.

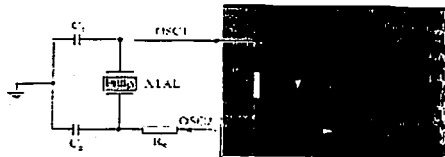


Figura 1.12 Configuración de Oscilador Externo.

La resistencia R_s no es necesaria en las versiones XT, pero sí en las versiones AT.

Únicamente las características exactas del cuarzo permiten saber si es o no necesaria y cuál debe ser su valor.

TRABAJO CON
FOLIA DE ORIGEN

Tabla 1.6 Valores de C1 y C2 Sugeridos para Algunas Frecuencias de Trabajo.

1.3.2. Circuito de Reset

Al igual que con los circuitos osciladores, todos los circuitos de las familias PIC adoptan el mismo método para reinicializar externamente el microcontrolador. Los PIC disponen de una terminal única de RESET denominada MCLR#, esta terminal presenta algunas particularidades para quien está habituado a los microcontroladores clásicos.

Estos dispositivos incorporan internamente una circuitería de RESET que entra en funcionamiento automáticamente cuando se conecta la alimentación. Si este procedimiento es suficiente (no existe necesidad de RESET externo manual, por ejemplo) y si la velocidad de crecimiento de la tensión de alimentación es lo bastante alta (típicamente superior a 0.05V/ms), no se necesita circuitería adicional. En la figura 1.13a se resume la conexión del circuito de RESET: la terminal MCLR# se conecta a la tensión de alimentación positiva VDD.

Si esta velocidad de crecimiento de la tensión no se alcanza, o cuando se necesite un control de RESET externo, o incluso si utiliza un cristal de cuarzo de frecuencia relativamente baja y, por lo tanto, el tiempo que se tarda en entrar en oscilación es grande, debe implementarse el circuito de la figura 1. 13b



Figura 1.13 Opciones de Conexión de la Terminal MCLR.

ERRATA CON
FALLA DE ORIGEN

El diagrama mostrado en la figura 1.13b es un circuito con el que los usuarios de microcontroladores ya están familiarizados.

Por último, si la tensión de alimentación es susceptible de variar en proporciones que el buen funcionamiento del circuito pueda comprometerse, es aconsejable prever una circuitería de RESET capaz de activarse si la alimentación desciende por debajo de un determinado umbral, ya que esto la circuitería interna no lo hace. *Microchip* propone dos esquemas como los que se muestran en la figura 1. 14.

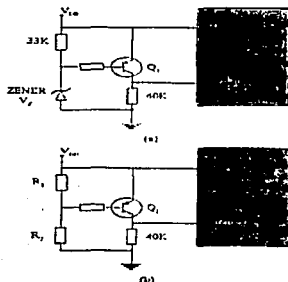


Figura 1.14 Circuitos Externos de Protección.

1.4 - Descripción General del PIC 16F84.

El PIC16X84 pertenece a la familia de la gama media y dentro de ella es uno de los más pequeños, sólo tiene 18 terminales. Además, es el que dispone de menos recursos. Pero se ha elegido a este PIC, en sus dos versiones C y F, porque cumple con los requisitos esenciales para enseñar a manejar los microcontroladores y comenzar a diseñar proyectos. Es práctico, sencillo y económico, poniéndolo como el paradigma para su empleo en todos los pequeños proyectos que realizan los aficionados, los estudiantes y quienes prefieren progresar en sus conocimientos de lo fácil a lo difícil.

Como se mencionó, el éxito de los PIC se basa en su utilización y la semejanza que existe entre ellos, ya que cuando se aprende a manejar uno de ellos, conociendo su arquitectura y repertorio de instrucciones, es muy fácil emplear otro modelo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Otra razón es debido al tipo de memoria de programa que posee. En el caso del PIC16C84 se trata de una EEPROM de 1 K palabras⁴ de 14 bits cada una. El PIC16F84 tiene la misma capacidad de memoria de instrucciones, pero del tipo Flash. Ambos disponen de 64 bytes de EEPROM como memoria de datos auxiliar y opcional.

La memoria EEPROM y la Flash son eléctricamente grabables y borrables, lo que permite escribir y borrar el programa bajo prueba manteniendo el microcontrolador en el mismo zócalo y usando el mismo dispositivo para grabar y borrar. Esta característica supone una gran ventaja con la mayoría de los microcontroladores, que tienen como memoria de programa reescribible una tipo EPROM. Se graban eléctricamente, pero para borrarlas hay que someterlas durante cierto tiempo a rayos ultravioleta, lo que implica sacar del zócalo al circuito integrado y colocarlo en un borrador de EPROM.

Microchip, ha introducido la memoria Flash porque tiene mejores posibilidades de aumentar su capacidad con relación a la EEPROM. También por su mayor velocidad y menor consumo.

Otra ventaja del PIC16X84 en cuanto a simplificar el proceso de escritura, borrado y reescritura de programas, tan necesario en la fase de diseño, es su sistema de grabación de datos, que se realiza en serie. Para escribir un programa en la memoria se manda la información en serie usando sólo dos de sus terminales: la RB6 para la señal de reloj y la RB7 para los bits de datos serie. La distribución de las terminales de este microcontrolador se muestran en la figura 1.15.

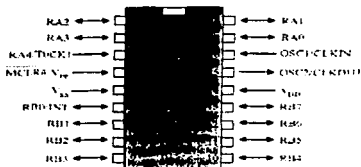


Figura 1.15 Diagrama de Terminales del PIC16X84.

⁴ 1 K palabras equivale a 1024 palabras, desde 000H hasta 3FFH. H declara notación hexadecimal

A continuación se describen las terminales del PIC16X84:

VDD: Es la terminal por la que se aplica la tensión positiva de la alimentación.

VSS: Terminal conectada a tierra o negativo de la alimentación.

OSC11CLKIN. Terminal por la que se aplica la entrada del circuito oscilador externo que proporciona la frecuencia de trabajo.

OSC21CLKOUT: Terminal auxiliar del circuito oscilador.

MCLR#1Vp-p: Esta terminal se activa con un nivel lógico bajo, lo que se representa con el símbolo #. Su activación origina la reinicialización o RESET* del PIC. También se usa esta terminal durante la grabación de la memoria de programa para introducir por ella la tensión Vp-p, que está comprendida entre 12 y 14 Vc-c.

RAO-RA4: Son las 5 líneas de E/S digitales correspondientes al Puerto A. La terminal RA4 además de ser una línea de V salida, comparte otra función expresada por TOCK1. Esta segunda función es la de recibir una frecuencia externa para alimentar al temporizador interno TNIRO.

RB0-RB7: Estas ocho terminales corresponden a las 8 líneas de E/S digitales del Puerto B. La línea RB0 a semejanza del terminal RA4 tiene una segunda función, que es la de servir como entrada a una petición externa de interrupción, por lo que se le denomina RB0INT. La terminal RB6 funciona como entrada de circuito de reloj y la terminal RB7 como entrada de datos durante el proceso de grabación de la memoria de programa.

En seguida se enlistan las características más relevantes del PIC 16X84:

Memoria de programa: 1 K x 14. EEPROM (PIC16C84) y Flash (PIC16F84). Memoria de Datos: 36 bytes (PIC16C84) y 68 bytes (PIC16F84). Memoria de Datos EEPROM: 64 bytes para ambos modelos. Pila: 8 niveles. Interrupciones: 4 tipos diferentes. Juego de instrucciones: 35. Encapsulado: plástico DIP (*"Dual In Package"*) o Doble Encapsulado) de 18 terminales. Frecuencia de trabajo: 10 MHz Máxima. Temporizadores: TMRO y WDT (*"Watch Dog Timer"*) o Temporizador *"Perrero Guardián"*. Líneas de E/S digitales: 13 (5 Puerto A y 8 Puerto B). Corriente máxima absorbida: 80 mA Puerto A, y 150 mA Puerto B. Corriente máxima suministrada: 50 mA Puerto A, y 100 mA Puerto B. Corriente máxima absorbida por línea: 25 mA; corriente máxima suministrada por línea: 20 mA.

Voltaje de alimentación (VD-D): de 2 a 6 Vc-c.

Voltaje de grabación (Vp-p): de 12 a 14 Vc-c.

* RESET: Se entiende como un estado de reinicialización en el que los valores de variables vuelven a condiciones preestablecidas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4.1.- Arquitectura Interna.

Para lograr una compactación de código de operación óptima y una velocidad superior a la de sus competidores, los microcontroladores PIC incorporan en su procesador tres de las características más avanzadas en las grandes computadoras:

1. Procesador tipo RISC.
2. Procesador segmentado.
3. Arquitectura Harvard.

Con la incorporación de estos recursos los PIC son capaces de ejecutar en un ciclo de instrucción todas las instrucciones, excepto las de salto que tardan el doble. Una condición imprescindible es la simetría y la ortogonalidad en el formato de las instrucciones, que en el caso de los PIC de la gama media tienen una longitud de 14 bits. De esta forma, se consigue una compactación en el código del programa, para un PIC16F84 es 2.24 veces superior al de un 68HC05 funcionando a la misma frecuencia.

El juego de instrucciones se reduce a 35 y sus modos de direccionamiento se han simplificado al máximo.

Con la estructura segmentada se pueden realizar simultáneamente las dos fases en que se descomponen cada instrucción al mismo tiempo que se está desarrollando la fase de ejecución de una instrucción se realiza la fase de búsqueda de la siguiente.

El aislamiento y las diferencias de los dos tipos de memoria permite que cada uno tenga la longitud y el tamaño más adecuados. De esta forma en el PIC16X84 la longitud de los datos es de 8 bits, mientras que la de las instrucciones es de 14 bits.

Otra característica relevante de los PIC, es el manejo intensivo del banco de registros, los cuales participan de una manera muy activa en la ejecución de las instrucciones, como se muestra en la figura 1.2, la ALU (*Arithmetic Logic Unit*) o Unidad Lógica Aritmética) efectúa sus operaciones lógico-aritméticas con dos operandos, uno que recibe desde el registro de trabajo W (*"work"*), que hace las veces de acumulador en los procesadores convencionales, y otro que puede provenir de cualquier registro o del propio código de operación (OP) a través de un multiplexor*.

El resultado de la operación puede almacenarse en cualquier registro o en W. Esta funcionalidad da un carácter completamente ortogonal a las instrucciones, lo que significa que pueden utilizar cualquier registro como operando fuente y destino. La memoria de datos RAM implementa en sus posiciones los registros específicos (SFR o *"Special Function Register"*) y los de propósito general (GPR o *"General Purpose Register"*).

* Multiplexor: Circuito combinatorial que selecciona información binaria de una de varias líneas de entrada y la dirige a una sola línea de salida.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

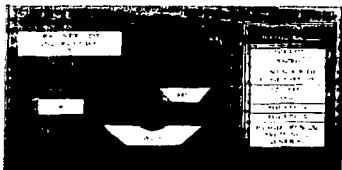


Figura I.16. Dispositivos que Proporcionan los Operandos a la ALU.

La arquitectura interna del PIC16F84 se muestra en la figura I.17 y consta de 7 bloques fundamentales que son:

1.- Memoria de Programa EEPROM de 1 K x 14 bits ligado al Contador de Programa (PC), y a una pila de 8 niveles.

2.- Memoria de Datos formada por dos áreas. Una RAM donde se alojan 22 registros de propósito específico (FSR) y 36 de propósito general (GPR), y otra del tipo EEPROM de 64 bytes.

3.- Bus de Datos con la ALU de 8 bits y un registro de trabajo "W" del que normalmente recibe un operando y envía el resultado. El otro operando puede provenir del bus de datos o del propio código de la instrucción (literal).

4.- Recursos conectados al bus de datos, tales como puertos de E/S y temporizador TMR0. Base de tiempos y circuitos auxiliares.

5.- Base de tiempos y circuitos auxiliares

6.- Direccionamiento de la memoria RAM en el modo directo a través del Registro de Instrucciones e indirecto a través del registro FSR.

7.- Lógica de control y decodificación de instrucciones.

8.- Bus específico de 11 bits para las instrucciones GOTO y CALL.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 1.17.- Arquitectura Interna del PIC16F84.
 Para realizar de forma correcta este documento de investigación, se usó el software de simulación de la familia de microcontroladores PIC16F84.

Figura I.17.- Arquitectura Interna del PIC16F84.

Para analizar de forma global el funcionamiento del microcontrolador se va a tomar como ejemplo la ejecución de una instrucción. El ciclo comienza con la fase de búsqueda que la inicia el Contador de Programa (PC) facilitando la dirección de la memoria de instrucciones donde se ubica. Su código binario de 14 bits se lee y se carga en el Registro de Instrucciones, desde donde se transfiere al Decodificador y a la Unidad de Control. A veces, dentro del código de la instrucción, existe el valor de un operando que se introduce a la ALU, o bien una dirección de la memoria de datos donde reside otro operando.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO II.

GENERALIDADES SOBRE TIRISTORES.

II.1 - Introducción.

Antes del advenimiento de los semiconductores, la electrónica consistía esencialmente en el estudio de los tubos electrónicos. El tubo al vacío o bulbo era por tanto el corazón de la electrónica y sus aplicaciones que en un principio fueron las técnicas radiofónicas, se ampliaron con la introducción de cantidades pequeñas y controladas de gas a un tubo al vacío que permitieron efectuar operaciones de interrupción, rectificación y otras que los tubos completamente evacuados no podían efectuar con la misma eficacia o de ninguna otra forma. La ciencia de la electrónica que generalmente se definía como el estudio del movimiento de los electrones, se extendió para incluir el estudio del movimiento de los electrones en el seno de los gases.

Más tarde, el descubrimiento de materiales sólidos llamados semiconductores, convirtió la electrónica en el estudio del movimiento de los electrones en el vacío, en los gases y en los sólidos. Estos materiales semiconductores mostraron su capacidad para efectuar muchas de las funciones de los tubos electrónicos, tal fue el caso del SCR que sustituyó las válvulas eléctricas como son: El excitador, el ignitrón así como el tiratrón a gas, y que se ha impuesto en aplicaciones como conmutación pura, variación de velocidad de motores y graduación de luz, debido principalmente a las grandes ventajas que presentan los elementos de estado sólido las cuales son:

- a) Innecesidad de precalentamiento.
- b) Volumen reducido.
- c) Posibilidad de trabajo en todas las posiciones.
- d) Insensibilidad a las sobrecargas.
- e) Fiabilidad.
- f) Vida media muy larga.
- g) Velocidad elevada de conmutación.
- h) Caída de tensión directa baja.
- i) Poca dependencia a la corriente.

Algunas otras áreas de aplicación incluyen circuitos de retraso de tiempo, fuentes de poder reguladas, inversores, cicloconvertidores, cargadores de batería, circuitos de protección, controles de calefacción y controles de fase. En los últimos años, los SCR's se han diseñado para controlar potencias tan altas como 10 MW con valores nominales individuales tan elevados como 200A a 1800V.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Su intervalo de frecuencia de aplicación se ha extendido también a cerca de 50 KHZ, permitiendo algunas aplicaciones de alta frecuencia tales como calentamiento por inducción y limpieza ultrasónica.

II.2.- Definición y Terminales del SCR.

El SCR ("silicon controlled rectifier" o Rectificador Controlado de Silicio), es un dispositivo semiconductor PNP unidireccional, construido de material de silicio, conmutador casi ideal y rectificador a la vez. Permanece normalmente bloqueado hasta que se le hace conducir mediante su electrodo de mando.

El SCR está formado por cuatro capas de material semiconductor de silicio dispuestas como se muestra en la figura II.1a, donde también se representa su símbolo (figura II.1b). La elección del silicio se debe a su elevada capacidad de temperatura y la potencia.

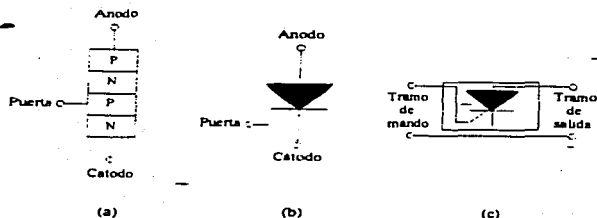


Figura II.1 SCR: (a) estructura semiconductora; (b) símbolo; (c) tramos de mando y salida.

Figura II.1.- SCR: (a) Estructura Semiconductora; (b) Símbolo; (c) Tramos de Mando y Salida.

Las terminales principales son el ánodo y el cátodo, y la circulación de corriente (corriente anódica) entre ellos, está controlada por el electrodo de mando llamado "puerta". Por lo anterior, a la sección comprendida entre el ánodo y el cátodo se le conoce como tramo de salida o de conmutación, mientras que la porción que va de la puerta al cátodo se le designa como tramo de mando o de gobierno (figura II.1c).

II.3 - Estados de Trabajo del SCR.

El SCR puede adoptar tres estados de trabajo: de bloqueo inverso, de bloqueo directo y de conducción. En el estado de bloqueo inverso, la tensión de ánodo es menor a la tensión de cátodo; esto propicia que la impedancia entre estas terminales sea muy grande como para permitir el paso de corriente. Por su parte, en el estado de bloqueo directo, el voltaje de ánodo es mayor al voltaje de cátodo; sin embargo, la alta impedancia continuará presente, hasta que se aplique un voltaje VG en la puerta del SCR con un valor adecuado o se aumente el voltaje ánodo-cátodo hasta cierto valor crítico (VB0), momento en el cual la impedancia entre ánodo y cátodo disminuirá y el SCR conmutará al estado de conducción.

Por lo tanto, la conmutación del estado de bloqueo al de conducción sólo puede ser posible si el voltaje de ánodo es mayor al voltaje de cátodo y además, las condiciones de "puerta" son favorables, o bien, la tensión ánodo-cátodo se aumenta hasta VR0. Si las condiciones anteriores se cumplen se establecerá un flujo de corriente unidireccional entre ánodo y cátodo. La magnitud de esta corriente, puede modificar el tiempo que el SCR permanece en el estado de conducción. Lo anterior puede utilizarse para controlar satisfactoriamente la corriente que fluye a través de la carga que se va a controlar. Para lograr este fin, el SCR se debe conectar en serie con la carga.

Si el SCR se encuentra trabajando en c-a, solamente permitirá el paso de corriente durante el semiciclo positivo de la fuente de c-a, esto significa que el SCR no puede conducir por más de 180° (propiedad unidireccional), durante el otro medio ciclo la polaridad negativa de la fuente provocará el aumento de la impedancia entre ánodo y cátodo impidiendo ésta, la circulación de la corriente hacia la carga.

Una vez en conducción, el SCR permanecerá en ese estado sin importar que las condiciones presentes en la terminal de "puerta" no sean las ideales, hasta que por algún método se logre la interrupción de la corriente de ánodo o en el caso de c-a, la tensión entre ánodo y cátodo encienda hasta un valor mínimo para el cual el SCR no puede mantenerse en conducción. En síntesis el SCR puede cumplir las siguientes funciones:

- a) Interrupción de corriente.- Usado como interruptor, el SCR puede reemplazar a los 4 contactores mecánicos.
- b) Regulación.- La posibilidad de ajustar el momento preciso de cebado permite emplear el SCR para controlar la potencia o la corriente media de salida.
- c) Rectificación.- Consiste en usar la propiedad de funcionamiento unidireccional del dispositivo el cual realiza entonces la función de un diodo.

SE HA CON
FALLA DE ORIGEN

II.4 - Modelo de los dos Transistores.

El funcionamiento del SCR puede describirse utilizando el modelo de los dos transistores.

Dicho modelo como se indica en la figura II.2, consiste en dividir las cuatro capas PNP en dos transistores, uno PNP y otro NPN. Estos dos transistores están conectados de forma que se obtenga una realimentación positiva.

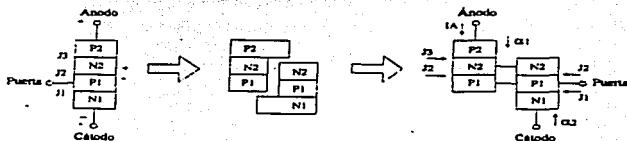


Figura 1.2 El SCR es equivalente a una combinación de dos transistores, uno PNP y otro NPN.

Figura II.2.- El SCR es equivalente a una Combinación de dos Transistores, uno PNP y otro NPN.

Si la región P2 es positiva con respecto a la región N1 y además, la puerta se mantiene sin conectar, las uniones J3 y J1 emiten portadores, positivos y negativos respectivamente, hacia las regiones N2 y P1. Estos portadores tras su difusión en la base de los transistores, llegan a la Unión J3, donde la región de vaciamiento genera un intenso campo eléctrico.

La corriente total de ánodo IA está formada por la corriente de colector Ic1 del transistor PNP y la corriente de colector Ic2 del transistor NPN. En forma de ecuación se tiene:

$$I_A = I_{c1} + I_{c2}, \text{ (Ecuación II.1).}$$

Por su parte, la corriente de colector (Ic) de un transistor se relaciona, en general, con la corriente de emisor (Ie) y la corriente de fuga de la unión colector-base (Icbo), como:

$$I_c = \alpha I_e + I_{cbo}, \text{ (Ecuación II.2).}$$

En este caso para ambos transistores, la corriente de emisor es igual a la corriente de ánodo IA, por lo que a partir de la ecuación II.1 se tiene:

$$I_{c1} = \alpha I_A + I_{cbo} \text{ (Ecuación II.3).}$$

(al) es la ganancia de corriente que da la fracción de la corriente de huecos inyectada en el emisor y que llega al colector del transistor PNP, mientras que (rol) es la ganancia de corriente que da la fracción de la corriente de electrones inyectada en el emisor y que llega al colector del transistor NPN.

Sustituyendo las ecuaciones II.3 y II.4 en la ecuación II.1 se obtiene:

$$IA = a1IA + Icb01 + rolA + ICBO2 \text{ (Ecuación II.5).}$$

Finalmente; despejando IA de la ecuación II.5 se tiene:

$$IA = Icb01 + Icb02 \text{ (Ecuación II.6).}$$

El estado de conducción o de bloqueo dependerá del denominador de la ecuación II.6. En muchos transistores de silicio la ganancia α es baja para valores reducidos de corriente, aumentando cuando crece la corriente. Si $Icb01 + Icb02$ es reducida, el denominador de la ecuación II.6 se acerca a 1 y la corriente IA es apenas mayor que $Icb01 + Icb02$, por tanto, sin importar que esté polarizada directamente la estructura PNP permanece bloqueada presentando una elevada impedancia.

Si se aumenta por cualquier motivo la corriente de fuga $Icb01 + Icb02$ (por ejemplo aumentando la tensión aplicada entre ánodo y cátodo del elemento), aumenta la corriente y la ganancia. La suma $a1 + a2$ tiende entonces a 1 y la corriente IA tiende a infinito (∞). En realidad, esta corriente toma un valor muy alto, limitada sólo por la carga. El SCR está entonces en estado conductor (también se dice que está desbloqueado, disparado o cebado). El SCR por aumento de la corriente de fuga es desaconsejable en la mayoría de los casos. El método de disparo mediante la puerta, es el más usual en el disparo de SCR's.

El disparo mediante la puerta consiste en polarizar directamente el dispositivo (región P2 más positiva con respecto a N1), posteriormente se aplica un impulso positivo de mando en la puerta; con lo cual, la corriente de emisor del transistor NPN se modifica, siendo ésta igual a la suma $IA + IG$, por lo que la ecuación II.4 se transforma en:

$Ic2 = rol(IA + IG) + ICBO2$ (Ecuación II.7). Sustituyendo las ecuaciones II.3 y II.7 en la ecuación II.1, se obtiene:

$IA = a1IA + Icb01 + a2(IA + IG) + ICBO2$ (Ecuación II.8). Resolviendo la ecuación 1.8 en función de IA se tiene:

$$IA = rolG + ICBO1 + ICBO2 \text{ (Ecuación II.9).}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La ganancia de corriente al variar con la corriente de emisor $I_{E1} = I_A$; y a_2 varía con $I_{E1} = I_A + I_G$. Una variación típica de la ganancia de corriente a con la corriente de emisor. Si el impulso de puerta es lo bastante grande como para poner en conducción a Q2, la corriente de colector de Q2 aumentará entonces a un valor suficientemente grande para poner en conducción a Q1 ($m_1 = I_{c2}$). Con Q1 en conducción, I_{c1} aumentará, produciendo un incremento correspondiente en m_2 .

El aumento de la corriente de base para Q2 dará por resultado un incremento adicional en I_{c1} . El resultado neto es un aumento regenerativo en la corriente de colector de cada transistor así como de a_2 y a_1 . Por lo tanto, si ($a_1 + a_2$) tiende a la unidad, el denominador de la ecuación II.9 se acerca a 0; esto dará como resultado un valor grande de la corriente del ánodo I_A , y el SCR se disparará con una pequeña corriente de puerta.

La acción regenerativa que acaba de describirse produce SCR's con tiempos de disparo típicos de 0.1 a 1 μ s. Sin embargo, los dispositivos de alta potencia en el intervalo de 100 a 400 A, pueden tener tiempos de disparo de 10 a 25 μ s. En cuanto el SCR conmuta del estado de bloqueo al de conducción el dispositivo permanece en ese estado, sin importar que el impulso en la puerta desaparezca, hasta que el circuito exterior deje de mantener la corriente de ánodo I_A .

II.5.- Curva Característica del SCR.

La curva característica muestra gráficamente, el comportamiento de la corriente de ánodo I_A , en función de la diferencia de tensión ánodo-cátodo. El SCR se mantiene bloqueado hasta que la tensión aplicada entre ánodo y cátodo alcanza el valor V_{B0} (voltaje de ruptura directa), momento en el cual, el dispositivo conmuta al estado de conducción. Sin embargo si la corriente de ánodo no supera determinado valor conocido como corriente de enganche I_L , el SCR regresará a la condición de bloqueo tan pronto disminuya el voltaje ánodo-cátodo.

Una vez que el SCR está en conducción ($I_A > I_L$), el voltaje entre las terminales ánodo y cátodo disminuye aproximadamente a 1 V, mientras que la corriente de ánodo I_A depende de la resistencia de carga que el dispositivo esté controlando. Si se reduce ahora el voltaje del ánodo, el SCR continuará conduciendo hasta que la corriente en ese sentido disminuya por debajo de un valor conocido como corriente de mantenimiento I_H .

Al aplicar una polarización inversa se observa la existencia de una débil corriente inversa de fuga, hasta que se alcanza un punto de tensión inversa máxima V_{IR} , que provoca la destrucción del elemento. El SCR es un elemento unidireccional, el disparo ha sido en este caso provocado por aumento de tensión en sentido directo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La aplicación de un impulso de voltaje en la puerta del SCR modifica la tensión de cebado de éste. Cuando es nula la corriente de puerta IG, el SCR no se ceba hasta que se alcanza la tensión VB0. A medida que aumenta la corriente de puerta IG, disminuye el valor de la tensión de disparo del dispositivo, en el límite, el SCR se comporta como un diodo, esto es, para una corriente de puerta suficientemente elevada, la menor tensión de ánodo provoca la conducción del dispositivo.

II.6 Características de Puerta.

El comportamiento de puerta en este tipo de dispositivos, no puede describirse como en la sección anterior mediante una curva característica, esto se debe a que para todos los SCR's de una misma familia, las tensiones y corrientes de puerta, que provocan el disparo varían con la temperatura y la fabricación. Para lograr dicha descripción se requiere de una serie de curvas características que muestran gráficamente la tensión puerta-cátodo, en función de la corriente positiva de puerta. Estas curvas generan una superficie, dentro de la cual queda definido el disparo de estos dispositivos.

Así, la curva A hace referencia a aquellos elementos que pertenecientes a una misma familia precisan de tensiones de entrada relativamente elevadas, para conseguir corrientes de entrada pequeñas, mientras que la curva B refleja el comportamiento de aquellos SCR's que con muy poca tensión de entrada, consiguen una apreciable corriente en la misma.

La característica de un determinado SCR correrá dentro de estas dos curvas. Por su parte, la curva C, representa la tensión directa de pico máxima admisible, en tanto que la Curva D indica la potencia de puerta máxima admisible. Generalmente se prescribe, por lo menos, un límite para el valor medio de esta potencia disipada en calor y otra para la potencia punta del impulso. Estas curvas se refieren al primer cuadrante, en el tercer cuadrante la tensión de puerta no debe nunca exceder los valores límites impuestos por el fabricante, debido a que una corriente inversa de puerta incrementaría peligrosamente la tensión.

La superficie delimitada por las curvas antes mencionadas, abarca el comportamiento de los diferentes componentes de una misma familia. Es en esta superficie, en el plano corriente-tensión de puerta, donde se puede garantizar el cebado, siempre y cuando trabaje en la zona de disparo seguro. En efecto, la superficie característica, se encuentra formada por dos zonas:

1.- Zona de disparo seguro.- Esta zona abarca aquellas combinaciones de corriente de puerta y la tensión puerta-cátodo, que disparan cualquier SCR de la serie de componentes para los que se proporcionan las características de puerta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.- Zona de disparo posible.- Abarca todas las combinaciones de corriente de puerta y tensión puerta-cátodo de los diferentes ejemplares de una misma familia de SCR's, en los que es factible, pero no seguro el disparo.

La temperatura determinará qué secciones de la región resaltada deben evitarse. A, -65°C , la corriente mínima que disparará todas las unidades para la serie C38 de General Electric, es de $80\ \mu\text{A}$, en tanto que a 150°C sólo se requieren $20\ \mu\text{A}$. El efecto de la temperatura sobre el voltaje de compuerta mínimo suele no indicarse sobre las curvas de este tipo, puesto que los potenciales de compuerta en este caso de $3\ \text{V}$ o más con frecuencia se obtienen fácilmente. Se indica para toda la familia C38 de General Electric, un mínimo de $3\ \text{V}$ para disparar todas las unidades en el intervalo de temperatura de interés. En la práctica conviene recordar que la corriente y la tensión de disparo disminuyen al aumentar la temperatura.

II.7.- Métodos de Disparo.

El paso del estado de bloqueo al de conducción del SCR, se realiza utilizando alguno de los siguientes métodos:

a). Método de puerta.- Es el método más utilizado en el disparo del SCR, como se describió anteriormente consiste en aplicar un impulso de voltaje suficientemente grande en la puerta del SCR aprovechando el efecto transistor.

b). Método de tensión.- Consiste en aumentar el voltaje directo entre ánodo y cátodo del dispositivo, provocando que la corriente inversa de fuga sea suficiente para provocar un brusco aumento de la corriente IE disparando al SCR.

c). Método por radiación o efecto fotoeléctrico.- Consiste en bombardear al SCR con fotones de tal forma que los pares de electrón-huecos que se generan provoquen un aumento de la corriente de bloqueo, disparando al dispositivo. Este tipo de elementos se conocen como fototristores.

d). Método de la derivada de la tensión.- Este método utiliza la propiedad de presentar una cierta capacidad en la unión P-N, de tal manera, que cuando la tensión entre ánodo y el cátodo crece bruscamente, dicha capacidad se carga con una corriente:

e) Método de aumento de temperatura.- Al aumentar la temperatura en un SCR, inversa de fuga aumenta casi al doble cada 14°C . Si esta corriente alcanza un valor suficientemente grande, el SCR se disparará por los fenómenos ya descritos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II.8 - Tiempo de Encendido del SCR.

Si un SCR está polarizado en directa, la inyección de una corriente de puerta al aplicar un impulso de voltaje positivo entre la puerta y la terminal del cátodo, cebará al SCR. No obstante, este impulso sólo afecta a la parte del cátodo vecino al electrodo de mando; por consiguiente, el paso del SCR del estado de bloqueo al de conducción está limitado en principio a esta superficie inicialmente cebada que se denomina zona primaria de cebado.

La conducción, reducida en principio a este estrecho canal, se propagará al resto del dispositivo con una velocidad finita del orden de $0,1 \text{ mm/seg}$. Se puede considerar que la entrada en conducción del SCR pasa por dos etapas bien diferenciadas:

- a). Creación de una zona primaria de conducción;
- b). Propagación del estado conductor al resto del dispositivo.

Resulta evidente que el tiempo de encendido no puede ser nulo, ni siquiera despreciable. Se le suele denominar (TON), y se define como el intervalo de tiempo entre el 10% de la corriente de puerta en régimen permanente (0.1 IG) y el 90% de la corriente activa del SCR en régimen permanente (0.9 IA). El Tiempo de Encendido (TON) se puede descomponer en dos periodos que son:

1.- Tiempo de precondicionamiento (td), (de "delay time").- Es el tiempo que transcurre desde que el flanco de ataque de la corriente de puerta alcanza la mitad de su valor final (50%) hasta que la corriente de ánodo IA alcanza el 10% de su valor máximo.

Este tiempo depende mucho de la corriente de mando, y sobre todo del tiempo de subida de esta corriente, pero depende poco de la tensión ánodo-cátodo (si es superior a por ejemplo, 200 V); varía desde $0,2 \mu\text{s}$ para los SCR's pequeños, a $1 \mu\text{s}$, aproximadamente, para los de media potencia (35 A, por ejemplo) y hasta $5 \mu\text{s}$ para los SCR's de potencia.

2.- Tiempo de subida (tr).- Es el tiempo necesario para que la corriente de ánodo IA pase del 10 al 90% de su valor máximo. Se podría también considerar el paso de la caída de tensión en el SCR, del 90 al 10% de su valor inicial. La amplitud de la señal de puerta juega un papel importante en la duración de Tiempo de Subida, (tr). La suma de $td + tr = \text{TON}$. Transcurrido ese tiempo de cierre, el SCR se dispara: es el tiempo TW.

TEST CON
FALLA DE ORIGEN

II.9.- Tiempo de Apagado del SCR.

La extinción del SCR se produce cuando se reduce la corriente de ánodo por debajo del valor de mantenimiento I_H , o, simplemente cuando se anula la corriente de ánodo I_A . Tras la extinción, no obstante, no se puede volver a aplicar tensión positiva antes de un cierto tiempo, so pena de que el SCR vuelva a conducir. Por tanto, para conseguir la conmutación del estado de conducción al de bloqueo, se requiere de un tiempo de extinción TOFF; el cual se define como el valor mínimo del intervalo de tiempo entre el instante en que la corriente de conducción I_A se ha reducido a cero y el instante en que el SCR es capaz de soportar un voltaje directo sin cesarse.

Se puede observar que al bloquear al SCR en t_1 ; la corriente disminuye siguiendo la pendiente di/dt ; la tensión en el SCR que era (aproximadamente de 1 V) disminuye también ligeramente.

En el instante t_2 , se invierte la corriente; si el SCR fuera perfecto se bloquearía instantáneamente; ahora bien el SCR se comporta como un cortocircuito, durante el tiempo t_2 , t_3 , bloqueándose bruscamente en t_3 ...

En ese momento observamos un salto de tensión, y a menudo una sobreoscilación o una oscilación debida a las inductancias y capacidades repartidas.

La unión inversa recupera su poder de bloqueo, pero la concentración de portadores minoritarios es todavía demasiado importante en las inmediaciones de la unión directa para que ésta se haya recuperado también. Es preciso esperar hasta t_6 para poder aplicar de nuevo tensión directa.

II.10.- Teoría de Operación del SCR.

Así, podemos considerar el tiempo de extinción TOFF como la suma del tiempo de "t" recuperación inversa (t_{tr}); (de "reverse recovery time"), de 1 μ s aproximadamente, por ejemplo, y del tiempo de recuperación de puerta; t_{gr} (de "gate recovery time").

Simbolizado también como $t_q = t_{tr} + t_{gr}$, el tiempo de extinción o apagado que varía desde 5 μ s, para los SCR's rápidos, hasta 50 μ s para los SCR's clásicos e incluso hasta 400 μ s para los muy grandes, depende de muchos parámetros y crece con:

- a). El aumento de la temperatura de la unión;
- b). El aumento de la corriente directa;
- c). El incremento de la pendiente negativa de la corriente directa (di/dt);
- d). La disminución de la corriente inversa de pico;

e). La disminución de la tensión inversa;

II.11.- Disparo del SCR.

El disparo del SCR se realiza generalmente empleando el método de "puerta", el cual consiste en aplicar un impulso de voltaje en la "puerta" del SCR para provocar que el dispositivo conmute el estado de bloqueo al de conducción. El disparo puede ocurrir en corriente directa (c-d), así como en corriente alterna (c-a). En efecto, sin importar el hecho de que el SCR sea un dispositivo unidireccional, se puede lograr que trabaje con ambos semiperíodos: positivo y negativo de la tensión de encendido.

Si el disparo se realiza en corriente continua, se pueden utilizar dos circuitos. En ambos casos si el interruptor SW se encuentra abierto, la corriente en la terminal de puerta es nula y el SCR permanecerá bloqueado. En el instante en que el interruptor SW se cierra, aparece un flujo de corriente en la puerta del SCR, si esta corriente alcanza un valor suficientemente grande, el dispositivo conmutará del estado de bloqueo al de conducción y la carga quedará energizada, para que esto ocurra, se debe seleccionar un valor adecuado de la resistencia RG. El valor de la corriente de puerta necesaria para asegurar el cebado del SCR, lo proporciona el fabricante mediante el manual de datos técnicos utilizando la notación IGT.

Una vez que el SCR conmuta del estado de bloqueo al de conducción, ésta permanecerá en ese estado sin importar que el interruptor SW sea abierto, esto debido a que no se necesita una corriente de puerta para mantener al SCR en conducción.

Cuando el disparo ocurre en corriente alterna, entonces se utiliza un circuito diferente. Del mismo modo que en el caso de corriente continua, si el interruptor SW se encuentra abierto, el SCR estará bloqueado y la carga desenergizada. Si SW se cierra durante el semiciclo negativo, la polaridad en inversa del diodo D1 impedirá la circulación de corriente en la terminal de puerta y el SCR continuará bloqueado.

En este circuito el SCR1 conduce durante el semiciclo positivo de la tensión de red; mientras que, el SCR2 lo hace en el semiciclo negativo. En ambos casos, el disparo ocurre si el interruptor SW se cierra y la tensión de red supera la suma de los valores instantáneos de la tensión de umbral del diodo correspondiente (D1 para el SCR1 y D2 para el SCR2), y la tensión de arranque del tramo puerta-cátodo del SCR en cuestión.

ESTRUC CON
FALLA DE ORIGEN

Una variante de la conexión de dos SCR's en antiparalelo consiste en sustituir un SCR por un diodo D1; con esto únicamente puede controlarse el 8 semiciclo en el cual el SCR trabaja. En el otro semiciclo, se deja pasar corriente constantemente en dependencia con la polaridad del diodo D1. Esto significa que incluso estando el SCR en el estado de bloqueo, siempre fluirá corriente a través del diodo y por la carga; esta parte de corriente no puede ser controlada por el SCR; solamente puede ser controlada la parte de corriente que le corresponde al SCR añadida a la del diodo. Lo anterior hace posible que la potencia absorbida por la carga, pueda ser controlada con un rango que va desde la mitad, hasta la totalidad de su valor pleno.

Un sólo SCR puede controlar ambas alternancias de una fuente de corriente alterna. Esto se logra conectando el SCR en la diagonal de un puente rectificador. Cuando la línea de corriente alterna está en su semiciclo positivo, los diodos A y C están polarizados directamente, por lo que, si el SCR se ceba, el voltaje de línea es aplicado a la carga. Cuando la línea de corriente alterna está en su semiciclo negativo, los diodos B y D están directamente polarizados; por lo que nuevamente el voltaje de línea es aplicado a la carga cuando el SCR se dispara. La forma de onda en la carga es por tanto bidireccional de onda completa.

II 12.- Métodos de Apagado de un SCR.

Una vez que el SCR se encuentra cebado, éste se mantiene en conducción sin importar que el impulso de voltaje en la puerta desaparezca. Para lograr que el SCR se desactive, es necesario limitar la corriente de ánodo IA (corriente en la carga), hasta un valor inferior a la corriente de mantenimiento IH. Si el SCR se encuentra trabajando en corriente alterna se desactivará automáticamente cuando se invierta la tensión de red y la corriente IA sea menor a la corriente de mantenimiento IH. Si el SCR está trabajando en corriente directa se desactivará mediante alguno de los siguientes métodos:

a). Método de interrupción de corriente de ánodo o natural.- Este método consiste en desactivar al SCR mediante la interrupción de la corriente de ánodo, La interrupción puede ser en serie o en derivación. Si la interrupción es en serie IA es cero cuando se abre el interruptor SW, mientras que si es en derivación IA es cero cuando se cierra el interruptor SW.

b) Método de interrupción forzada.- Este método consiste en polarizar inversamente las terminales principales del SCR (tramo ánodo-cátodo), provocando la circulación de corriente en sentido opuesto a la corriente de carga, con ello se consigue que la corriente total a través del SCR descienda por debajo de la corriente de mantenimiento IH, bloqueándose el dispositivo semiconductor.

Lo anterior se puede conseguir de diversas maneras, una de ellas es utilizando una fuente de tensión auxiliar que queda aplicada al tramo de conmutación del SCR al cerrar el interruptor SW. Este interruptor puede ser sustituido por un transistor. Si el transistor se encuentra cortado, la impedancia de colector a emisor es muy elevada, por lo que, el circuito de apagado no afecta la operación del SCR. Cuando el transistor pasa al estado de conducción, se produce una baja impedancia de colector a emisor. El potencial de la batería aparecerá entonces directamente en el SCR forzando la corriente a través de él en la dirección inversa para bloquearlo.

Otra posibilidad de bloquear un SCR en conducción es mediante el empleo de un capacitor (de bloqueo), el cual se carga a través de R con la polaridad indicada cuando el SCR entra en conducción y se descarga sobre el SCR al cerrar el pulsador P, apagando el SCR. El pulsador P del circuito puede ser sustituido por un SCR auxiliar (de bloqueo).

El funcionamiento es el siguiente: Estando bloqueados ambos SCR's, el voltaje de alimentación aparecerá entre las terminales de los SCR's, si se aplica un impulso de voltaje en la puerta del SCR1, éste pasará a conducción y el voltaje a través de sus terminales disminuirá hasta la tensión de conducción del SCR (aproximadamente 1V). Ahora la placa izquierda de C se encuentra a un voltaje igual al de alimentación ya que el SCR2 continúa bloqueado, en tanto que, la placa derecha de C se encuentra a un potencial igual al voltaje de conducción del SCR1, por lo que, C comenzará a cargarse con una constante de tiempo " τ " igual a RC y alcanzará prácticamente el valor de la tensión de alimentación al transcurrir un intervalo de tiempo de aproximadamente 4RC. Una vez cargado C, si se pone en conducción el SCR2 (mediante su puerta), el capacitor C se descargará a través del SCR1 bloqueándolo, y la carga RL quedará desenergizada.

Inmediatamente después se vuelve a cargar C a través de RL, pero esta vez, la carga de C se efectúa con polaridad opuesta hasta alcanzar una tensión que es la de alimentación disminuida por el valor de la tensión de paso del SCR2. Esta carga se lleva a cabo según la constante de tiempo CRL y finaliza aproximadamente al cabo de 4CRL. Si el SCR1 es cebado mediante un impulso de voltaje en su puerta el capacitor C se descargará ahora sobre el SCR2 bloqueándolo. El proceso descrito es repetitivo, esto es, la conmutación de un SCR a conducción conmutará al otro SCR a corte.

Si la resistencia R no es otra carga, debe ser elegida cuidadosamente para minimizar la pérdida de potencia en ella y obtener una constante de tiempo que no sea grande comparada con la frecuencia de conmutación. En cuanto a los SCR's, éstos deben estar dimensionados por lo menos para una tensión del doble que la de alimentación; por supuesto que el SCR1 debe soportar la corriente de carga. Por su parte, el capacitor de bloqueo C debe poder aguantar una tensión alterna con un valor cresta por lo menos igual a la tensión de alimentación y su capacidad queda definida mediante la ecuación II.7.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

II.13. - Pendiente de Tensión, dv/dt .

La pendiente de tensión dv/dt se define como la máxima velocidad de crecimiento de la tensión aplicada entre ánodo y cátodo que el SCR puede soportar; si esta velocidad de crecimiento se excede, se corre el riesgo de provocar accidentalmente el disparo del SCR1 aun cuando no ocurra una señal de puerta. Este fenómeno se debe a la capacidad interna del SCR que se carga con una corriente $i = C dv/dt$ la cual, si dv/dt es grande, puede ser suficiente para lograr el cebado.

La dv/dt admisible varía considerablemente con la temperatura, generalmente aumenta con todo lo que tiende a dificultar el cebado. Así, por ejemplo, la introducción de un resistor en paralelo con la puerta que reduce la sensibilidad del SCR, mejora la relación dv/dt .

Gracias a la tecnología "shorted emitter" que integra ya un resistor de difusión entre la puerta y el cátodo del SCR se fabrican actualmente SCR's que soportan 500 V / μ s.

A pesar de lo grande que sea cualquier onda transitoria que aparezca a través de las terminales de ánodo y cátodo, siempre que ésta tenga una pendiente menor que el valor de dv/dt especificado por el manual del fabricante, el SCR permanecerá bloqueado mientras no aparezca un pulso de corriente en la puerta del mismo. Si se presenta una onda transitoria o si la tensión ánodo-cátodo supera el valor dv/dt que especifica el fabricante, el SCR puede cebarse aun con la ausencia de corriente de puerta para evitar este hecho indeseable, se requiere adicionar un circuito que proteja al SCR. Dicho circuito consiste en conectar una rama RC en paralelo con las terminales ánodo y cátodo.

II.14. - Pendiente de Corriente, di/dt .

La pendiente de corriente di/dt , se refiere a la velocidad de crecimiento de la corriente que aparece entre las terminales del SCR, esta velocidad impuesta al SCR por el circuito exterior o carga utilizada, es de gran importancia, ya que paralelamente con el incremento de corriente, ocurre una caída de tensión en el SCR durante la conmutación del estado de bloqueo al de conducción; como la conmutación no se efectúa instantáneamente, si la di/dt es excesiva, habrá momentos en que se presenten simultáneamente valores elevados de corriente y de tensión; esto daría como resultado que la potencia instantánea alcanzaría valores muy altos, la energía disipada en un volumen reducido daría lugar entonces a un calentamiento considerable que, de alcanzar el limite térmico crítico destruiría la zona conductora por fusión del silicio: esto es la destrucción por di/dt .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La di/dt depende también de las condiciones de puerta, el convenio, generalmente consiste en alimentar la puerta a 20 V con un resistor en serie de 20 Ω .

En los catálogos de SCR's el fabricante proporciona el valor de la máxima velocidad admisible de crecimiento de la corriente (por ejemplo 20 A/ μ s), el cual hay que respetar si se quiere trabajar en los puntos idóneos de operación del SCR, si no se desea comprometer la vida del SCR. Este límite de corriente principalmente se refiere a valores de corriente superiores al de mantenimiento.

Si el SCR es cebado por impulsos, éstos deben ser lo suficientemente largos como para permitir que la corriente en el SCR haya alcanzado el valor de la corriente de enganche I_L . Esto significa que así como hay un valor de crecimiento de corriente máximo, también hay un valor mínimo de crecimiento de la corriente que requiere ser alcanzado si se desea conseguir el cebado del SCR, en especial en circuitos inductivos, en los cuales la corriente no aparece repentinamente si no que su velocidad de crecimiento es directamente proporcional al valor instantáneo de la tensión, en el momento del arranque y cuanto mayor sea la proporción de la inductividad de la carga, es decir, cuanto mayor sea la relación L-R.

II.15.- Influencia de la Temperatura.

Los límites de funcionamiento de un SCR se definen por una magnitud esencial: la temperatura máxima admisible en la unión. Puede ser de 1250° C ó de 1500° C. Las especificaciones técnicas de cada tipo de SCR dan los valores límites de la temperatura de trabajo, que pueden ser, por ejemplo, de -550° C a 1250° C.

La energía eléctrica disipada en el SCR, independientemente del sentido en que circule la corriente, aparece en forma de energía térmica al nivel de las uniones, de forma que la potencia total perdida en el cristal implica una elevación de temperatura de la unión.

Esta cantidad de potencia disipada no representa de hecho más que una ínfima parte de la potencia puesta en juego en el circuito, pero no se debe olvidar que el nivel energético a partir del cual se efectúa la elevación de la temperatura de la unión viene fijado por la temperatura ambiente. Por consiguiente, la temperatura de unión puede alcanzar valores relativamente elevados, sobre todo si tenemos en cuenta que la temperatura ambiente en las industrias suele ser, con bastante frecuencia, del orden de los 50° ó 600° C.

TECNOLOGIA
FALLA DE ORIGEN

Así pues, en el caso de un SCR la temperatura de la unión no debe sobrepasar los 125° C, por ejemplo, habrá que asegurar su eficaz refrigeración fijando el SCR sobre un radiador, refrigerado a su vez ya sea por las corrientes de convección natural del aire ambiente, sea por una corriente forzada de aire o incluso por circulación de agua. Las principales magnitudes térmicas características son:

1.- Temperatura de la unión.- Esta temperatura, simbolizada T_j , no es medible directamente, por lo que es preciso determinarla en función de la temperatura ambiente y de las imposiciones eléctricas. En régimen permanente se establece un equilibrio térmico entre las uniones y el aire ambiente que circula entorno al radiador del SCR. Este equilibrio se obtiene cuando la energía térmica radiada en cada segundo por el radiador compensa exactamente la potencia disipada en el cristal. La cantidad de calor que se desprende del cristal es proporcional a la diferencia existente entre la temperatura de la unión y la del ambiente.

Por analogía con la ley de Ohm, se puede entonces asignar carácter de diferencia de potencial técnico a esta diferencia de temperatura, y definir una corriente de conducción térmica como la cantidad de calor que escapa, cada segundo, del radiador.

A partir de ello se impone por sí misma, la noción de resistencia térmica; esta resistencia es la que determina la circulación técnica entre la unión y el ambiente, y se mide en grados celsius por watt (°C/W).

2.- Temperatura de la cápsula.- La temperatura de la cápsula, T_c es la que se mide en la cápsula que encierra el cristal, en el punto más caliente, esto es, en el punto más cercano a las uniones, accesible no obstante, desde el exterior.

II.16.- Potencia Disipada.

La potencia disipada en la unión de un SCR depende de cualquiera o de todas de las causas siguientes:

- 1.- Las pérdidas por conducción directa.
- 2.- Las pérdidas por conmutación durante el cebado.
- 3.- Las pérdidas por conmutación durante la extinción.
- 4.- Las pérdidas durante el bloqueo.
- 5.- Las pérdidas en el circuito de puerta.

Esta potencia disipada se manifiesta bajo la forma de calor, que eleva la temperatura de la unión T_j . En la práctica se usa la ecuación II.13.

$$T_j - T_c = PR_{th} \text{ (Ecuación II.13).}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

donde:

T_j es la temperatura de la unión, en grados Celsius, °C.

T_c es la temperatura de la cápsula, en grados Celsius, °C.

P es la potencia media disipada en la unión, en watt, W.

R_{th} es la resistencia térmica unión-cápsula, en grados celsius por watt (°C/W).

Esta ecuación sirve para calcular la potencia máxima admisible en corriente directa cuando se toma T_j como la temperatura máxima.

II. 17.- Encapsulado del SCR.

El encapsulado del SCR varía mucho según se trate de dispositivos de pequeña, mediana o gran potencia. A grosso modo podemos distinguir:

a). Las cápsulas con hilos terminales.- Las más conocidas son las TO-5M y TO-18; con una versión plástica, la TO-92. A propósito de estas cápsulas, conviene hacer notar que la evacuación de calor no se obtiene sólo por convección natural, sino también por conducción al soporte mediante las terminales. La potencia disipable podrá así variar considerablemente con la longitud de estos hilos y con la capacidad de disipación del soporte. Además, en una variante del TO-5M conviene incluso soldar la cápsula a un radiador para poder obtener la potencia máxima anunciada.

b). Las cápsulas atornillables.- Este tipo de cápsulas se utiliza mucho en los diodos desde que consumen desde algunos amperes hasta centenas de amperes de corriente. Su empleo es menos general en SCR's pero aún dominan la gama situada por encima de 15 ó 20 amperes. Han de asociarse a radiadores de impedancia térmica adecuada.

c). Las cápsulas planas.- Destacan en primer lugar las TO-66 y TO-3, heredadas de los transistores. Ofrecen sobre todo la ventaja de ser bien conocidas, pero tienden a cambiarse por cápsulas de plástico como las TO-220, cada vez más utilizadas en la gama de 6 a 15 amperes.

II. 18.- Teoría General del SCR.

Voltaje de encendido (VON).- Es la diferencia de potencial ánodo-cátodo promedio que tiene el SCR en trabajo normal.

Corriente de enganche (IL).- Es la corriente de ánodo IA mínima requerida para mantener al SCR en el estado de conducción inmediatamente después de que ha sido disparado y se ha retirado la señal de prueba.

TEXIS CON
FALLA DE ORIGEN

Su valor es por lo general de dos a tres veces la corriente de mantenimiento, definida a continuación:

- 1.- Corriente de mantenimiento (IH).- Es la corriente necesaria de ánodo IA que debe circular para mantener al SCR en el estado de conducción.
- 2.- Características de control.- Este tipo de características se refieren al control del SCR cuando existe disparo de puerta.
- 3.- Corriente de puerta (IGT).- Es el valor de la corriente de puerta mínima necesaria para asegurar el disparo del SCR.
- 4.- Voltaje de disparo (VGT).- Es el voltaje mínimo de puerta que asegura el disparo del SCR.
- 5.- Voltaje máximo en la puerta sin disparo (VGD).- Es la tensión máxima aplicable a la puerta sin provocar el disparo. Esta tensión se define a la temperatura máxima y es siempre muy inferior a la tensión de disparo.
- 6.- Potencia disipable de puerta (PGAV).- Es el valor de la potencia disipada en la unión puerta-cátodo.
- 7.- Potencia de pico de puerta (PGFM).- Corresponde a la potencia máxima disipada en la unión puerta-cátodo en el caso de aplicarse una señal de disparo no continua. Su valor es superior al de PGAV y su límite depende de las condiciones de cebado.
- 8.- Características Técnicas.- Las características técnicas están determinadas por la influencia del incremento de la temperatura en los materiales semiconductores.
- 9.- Temperatura de la cápsula (TC).- Es la temperatura que posee el encapsulado del dispositivo.
- 10.- Temperatura de la unión (TJ).- Es la cantidad de calor que se desprende del cristal semiconductor y es proporcional a la diferencia existente entre la temperatura de la unión y la del medio ambiente.
- 11.- Disipación de energía (PTAV).- Son todas las pérdidas que por efecto Joule son generadas por el SCR.

II.19 - Introducción al TRIAC.

El desempeño satisfactorio obtenido con la introducción del SCR en el campo de la electrónica, genero la inquietud de los investigadores para desarrollar un dispositivo más apto para conducción controlada en circuitos de corriente alterna.

La inquietud anterior dio origen al TRIAC, que se caracteriza por ser un componente simétrico en cuanto a conducción y estado de bloqueo se refiere, tiene unas fugas de bloqueo y caída de tensión en conducción prácticamente iguales a las de un SCR y el hecho de que entre en conducción si se supera la tensión de ruptura en cualquier sentido, lo hace inmune a destrucción por sobretensión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sin embargo, a diferencia de un SCR, un TRIAC debido a la complicación de su estructura es más delicado en cuanto a dv/dt , di/dt y capacidad para soportar sobreintensidades. Se fabrican para intensidades desde algunos amperios hasta unos 400 Amperes eficaces y desde 400 a 1000 Volts de tensión de pico repetitivo.

Al TRIAC se le puede considerar como un interruptor de corriente alterna y es definitivamente la versión bidireccional del SCR. El campo de acción de los TRIAC's es muy vasto, en especial para lo relativo al control de velocidad de motores, control de iluminación, conmutación pura, electrodomésticos, control de temperatura, etcétera.

II.20.- Definición y Terminales del TRIAC.

El TRIAC (Triode Alternating Current o Triodo para Corriente Alterna), es un dispositivo semiconductor capaz de pasar de un estado de bloqueo a un régimen conductor en los dos sentidos de polarización y volver al estado de bloqueo por inversión de la tensión o por disminución de la corriente por debajo del valor de mantenimiento I_H , está constituido por tres electrodos: terminal MT1, terminal MT2 y la Puerta. Las terminales MT1 y MT2 se intercalan en el circuito a controlar (como si de un interruptor se tratara), la puerta por su parte es el electrodo de mando, sirve para provocar el arranque del paso de corriente. Al tramo puerta-MT1 se le conoce como tramo de entrada o de mando, mientras que al tramo MT2-MT1 se le designa como tramo de salida o principal. En la figura II.4a se muestran las capas semiconductoras que conforman al TRIAC, mientras que en la parte b y c de dicha figura se observan el símbolo de este dispositivo, así como, los tramos de entrada y salida.

FESIS CON
FALLA DE ORIGEN

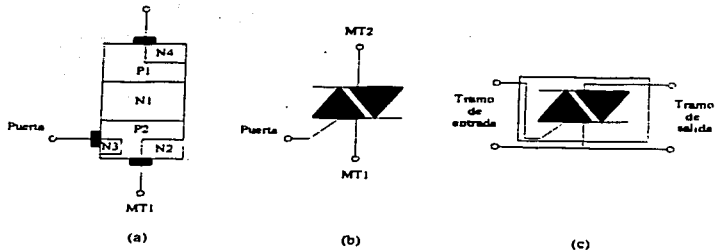


Figura 2.1 TRIAC: (a) estructura semiconductor; (b) símbolo; (c) tramos de entrada y salida.

Figura II.4.- El TRIAC: (a) Estructura Semiconductor; (b) Símbolo; (c) Tramos de Entrada y Salida.

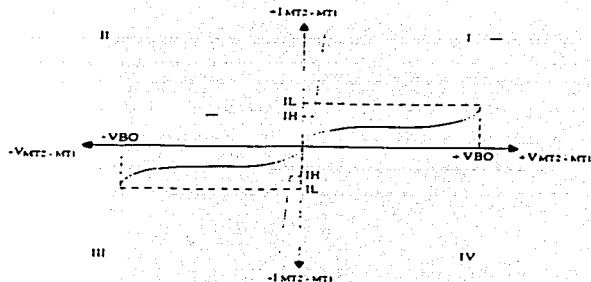


Figura 2.2 Curva característica del TRIAC.

Figura II.5.- Curva Característica del TRIAC.

II.21.- Funcionamiento del TRIAC.

Un TRIAC puede presentar dos estados de trabajo: de bloqueo y de conducción. Cuando está bloqueado, no puede fluir corriente entre las terminales MT1 y MT2 sin importar la polaridad de la fuente externa aplicada, por tanto, el TRIAC funciona como un interruptor abierto. Cuando el TRIAC es llevado a conducción, presenta una resistencia muy baja al paso de corriente entre MT1 y MT2, donde el sentido del flujo depende de la polaridad de la fuente de tensión. Si el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1 a través de las capas P1N1P2N2; en tanto que, si el voltaje es más positivo en MT1, la corriente fluye de MT1 a MT2 a través de las capas P2N1P1N4, en ambos casos, el TRIAC funciona como un interruptor cerrado.

Generalmente, para conseguir la conmutación del estado de bloqueo al de conducción se aplica un impulso de voltaje en la terminal de puerta. Una vez en conducción el TRIAC se mantendrá en ese estado hasta que la corriente entre MT1 y MT2 caiga por debajo del valor de mantenimiento IH. En TRIAC's de mediana potencia IH es del orden de 100 mA.

El TRIAC puede conducir durante los 360° de la tensión de red o con el arreglo adecuado de disparo, se puede modificar el valor promedio de la corriente que se entrega a la carga.

Esto se logra variando la cantidad de tiempo por ciclo que el TRIAC permanece en el estado de conducción; si éste es pequeño, el valor promedio de la corriente será bajo, mientras que si es grande, el valor promedio de la corriente será alto.

Los TRIAC's presentan ante los interruptores mecánicos convencionales las siguientes ventajas: no producen rebotes de contactos; no generan arco eléctrico en contactos parcialmente abiertos; pueden operarse mucho más rápido; por tanto, permiten un control de potencia más preciso.

II.22.- Curva Característica del TRIAC.

El TRIAC se puede analizar mediante su curva característica que muestra gráficamente el comportamiento de la corriente existente entre las terminales MT2 y MT1 en relación con el voltaje aplicado entre dichas terminales. La figura II.6, presenta la curva característica de un TRIAC, en ella se observa que el dispositivo puede dispararse en ambos sentidos de polarización, siempre y cuando el voltaje aplicado entre las terminales MT2 y MT1 supere el voltaje de ruptura VBO y la corriente en este tramo sea mayor al valor de la corriente de enganche IL.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El valor de corriente para el cual el TRIAC se bloquea cuando la conducción se reduce lentamente partiendo de un nivel más alto, se denomina corriente de mantenimiento I_H y su valor es siempre inferior a la corriente de enganche.

Al igual que en un SCR, la aplicación de corriente en la puerta del dispositivo permite que el voltaje de ruptura se alcance antes, entre más grande sea esta corriente más rápido se disparará el TRIAC.

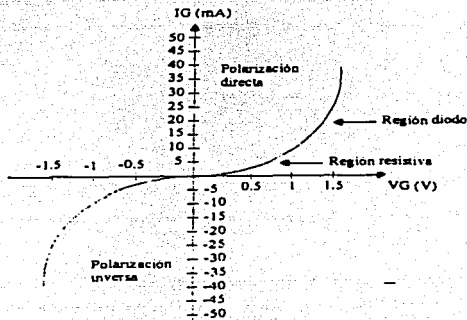


Figura 2.3 Curva característica de puerta del TRIAC.

Figura 11.6.- Curva Característica de Puerta del TRIAC.

11.23 - Características de Puerta del TRIAC.

Un TRIAC puede dispararse mediante una corriente de puerta positiva o negativa. Las curvas que dan la intensidad de puerta en función de la polarización puerta-MT1 adoptan la misma forma, en los dos sentidos de conducción, que las de un diodo (figura 11.7).

CON
FUELLA DE ORIGEN

Más exactamente, se encuentran en ellas dos regiones, una correspondiente a un diodo normal, y otra, cerca del origen, que es sensiblemente resistiva. Las curvas correspondientes a corrientes de puerta positiva y negativa no son rigurosamente superponibles, y pueden presentar inclinaciones diferentes, según el sentido de polarización de las salidas.

La sensibilidad de puerta difiere según el cuadrante, pero en general una corriente de puerta suministrada en forma de impulsos de 100 mA a 3 V, por ejemplo, bastará en todos los casos para disparar al TRIAC cuya curva se ha representado.

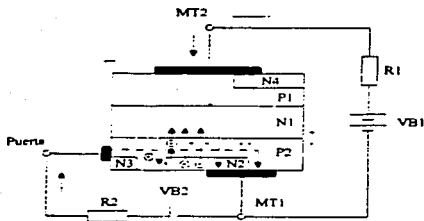


Figura 2.4 Funcionamiento del TRIAC en el cuadrante I.

Figura 11.7.- Funcionamiento del TRIAC en el Cuadrante I.

11.24.- Cuadrantes de Polarización.

Un TRIAC puede conducir en ambos semiperíodos de la tensión de corriente alterna mediante la aplicación de un impulso de voltaje positivo o negativo en el tramo puerta-MT1. Por lo tanto, se pueden definir cuatro cuadrantes de polarización, los cuales se forman de acuerdo con la polaridad existente en los tramos MT2-MT1 y puerta-MT1. El siguiente cuadro resume los cuadrantes y sus respectivas polaridades:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

a). Disparo en el cuadrante I.- En este cuadrante funcionan las capas PINIP2N2, la corriente de puerta circula internamente hasta MT1, en parte por la unión P2N2 y en parte a través de la zona P2. Se produce la natural inyección de electrones de N2 a P2, que es favorecida en el área próxima a la puerta por la caída de tensión que produce en P2 la circulación lateral de corriente de puerta. Esta caída de tensión se simboliza por signos + y -. Parte de los electrones inyectados alcanzan por difusión la unión P2N1, que bloquea el potencial exterior y son acelerados por ella iniciándose la conducción.

b). Disparo en el cuadrante II.- El disparo en este cuadrante inicialmente se efectúa conduciendo la estructura auxiliar P1N1P2N3 y luego la principal P1N1P2N2. El disparo de la primera se produce como en un SCR normal actuando la puerta del TRIAC como cátodo y MT1 de puerta. Toda la estructura auxiliar se pone a la tensión positiva de MT2 y polariza fuertemente la unión P2N2 que inyecta electrones hacia el área de potencial positivo. La unión P2N1 de la estructura principal, que soporta la tensión exterior, es invadida por electrones en la vecindad de la estructura auxiliar, entrando en conducción.

c). Disparo en el cuadrante III.- En este cuadrante conducen las capas P2N1P1N4. La capa N3 inyecta electrones en P2 que hacen más conductora la unión P2N1. La tensión positiva de MT1 polariza el área próxima de la unión P2N1 más positivamente que la próxima a la puerta. Esta polarización inyecta huecos de P2 a N1 que alcanzan en parte la unión N1P1 y la hacen pasar a conducción.

d). Disparo en el cuadrante IV.- El disparo en este cuadrante, tiene lugar a través de las capas semiconductoras P2N1P1N4. La inyección de electrones de N2 a P2 es igual a la descrita en el cuadrante I. Los que alcanzan por difusión la unión P2N1 son absorbidos por su potencial de unión, haciéndose más conductora. El potencial positivo de puerta polariza más positivamente el área de la unión P2N1 próxima a ella que la próxima a MT1, provocándose una inyección de huecos desde P2 a N1 que alcanza en parte la unión N1P1 encargada de bloquear la tensión exterior y se produce la entrada en conducción.

Los cuatro cuadrantes de disparo descritos tienen diferente sensibilidad, siendo los cuadrantes I y III los más sensibles, seguidos de cerca por el cuadrante II. El cuadrante IV es el de disparo más difícil y debe evitarse su empleo en lo posible. El fabricante facilita datos de características eléctricas en bloqueo, conducción y de disparo por puerta de forma similar a lo explicado para el SCR.

II 25 - Disparo y Bloqueo del TRIAC.

El TRIAC se puede disparar mediante los mismo métodos que el SCR, siendo el disparo por puerta el que más se utiliza. Por su parte, el bloqueo de este dispositivo se lleva a cabo al final de cada semiperíodo cuando la corriente desciende por debajo del valor de mantenimiento IH.

II.26 - La dv/dt en los TRIAC's según sus Condiciones de Operación.

En los TRIAC'S se distinguen en general dos tipos de condiciones, en cuanto a la variación de tensión:

- 1.- dv/dt aplicada sin conducción previa;
- 2.- dv/dt aplicada tras conducción, llamada también dv/dt en conmutación.

La dv/dt sin conducción previa tiene una gran similitud a la de los SCR's, esto debido a que el fenómeno es idéntico (la única diferencia es que, para los TRIAC's, la restricción se impone en ambos sentidos de conducción).

Cuando se aplica una rampa de tensión (dv/dt) en polarización directa, a partir de un nivel cero, a un TRIAC (o un SCR), la zona desierta se establece en la capa de puerta sólo cuando se han evacuado las cargas móviles por la corriente:

$$i = C \text{ (unión) } dv/dt$$

Lo que equivale a la introducción de una corriente de puerta igual a $C \, dv/dt$, el TRIAC puede conmutar al estado de conducción directa.

La solución de este problema reside en el empleo de la técnica de cortocircuito de emisor. En el caso del TRIAC, es necesario disponer cortocircuitos de emisor en las capas N4 y N2, ya que el riesgo de disparo por dv/dt existe tanto para un sentido de conducción como para el otro.

La dv/dt en conmutación se presenta justamente cuando el TRIAC se encuentra en conducción, por ejemplo, cuando conducen las capas P1N1P2N2, entonces la distribución de las cargas en las capas P2 y N1 es función del nivel de la corriente y de los dopados.

Si se polariza bruscamente el elemento en sentido opuesto, de bloqueo, se impondrá una nueva distribución de las cargas necesarias para conseguir el bloqueo. Es evidente que el exceso de cargas almacenadas entre las dos posiciones límites debe desaparecer durante la conmutación; una parte de estas cargas se evacua por la corriente circulante (carga recuperada) y el resto se reabsorbe por recombinación.

Ahora bien, este exceso de cargas es fundamentalmente en la conmutación TRIAC. En efecto, la aplicación de la tensión inversa a P1N1P2N2 se hace a una cierta velocidad (dv/dt), donde el subíndice "i" indica que se trata de la tensión inversa; pero ésta se aplica en sentido directo a las capas P2N1P1N4. Si se considera lo anterior, vemos que las cargas inyectadas en las bases se deben a:

- a). La corriente capacitiva debida a (dv/dt);
- b). La conducción previa de las capas P1N1P2N2 (en razón del acoplamiento que se produce entre las capas P1N1P2N2 y P2N1P1N4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esta claro que las capas P2N1P1N4 se cebarán si el número de cargas inyectadas es suficiente. El límite tolerable por el TRIAC, de esta dv/dt en conmutación será en general bastante menor que la dv/dt sin conducción previa. El valor de dv/dt en conmutación vendrá esencialmente determinado por la cantidad de carga inyectada a partir de las capas P1N1P2N2 hacia P2N1P1N4.

La insistencia de este fenómeno se debe a que no es raro encontrar TRIAC's que posean una característica excelente en cuanto a dv/dt (sin conducción previa), superior a los 100 V / μ s, pero que presentan, a la vez, un límite en conmutación de algunos volts por microsegundo, o incluso menos. Es pues necesario distinguir bien, a nivel de utilización, estos dos tipos de restricciones, a pesar de la infortunada similitud existente entre sus denominaciones. La dv/dt en conmutación se asemeja más, en efecto, al fenómeno de rebloqueo de los SCR's que a la dv/dt clásica.

II.27.- La di/dt en los TRIAC's.

En los TRIAC's encontramos de nuevo todos los aspectos relativos a la di/dt , anteriormente, presentados para los SCR's: riesgo de cebado local asociado a la aparición de puntos calientes, etcétera. No obstante, el TRIAC puede presentar, en régimen de di/dt algunos fenómenos propios y característicos. En efecto, su estructura geométrica, comparada con la del SCR, es relativamente más compleja, y esto sobre todo en la región de puerta. La creación de puntos calientes en sus alrededores puede modificar considerablemente las características de las uniones en la zona de mando.

Debido a lo anterior se puede observar una evolución de las corrientes de disparo del TRIAC, en régimen de di/dt abusivo, en el sentido de una disminución de sensibilidad del elemento (aumento de la corriente de disparo); una sollicitación aún más fuerte debida, sea a un nivel aún mayor de di/dt , sea a una duración superior, puede provocar una degradación de la característica de tensión. El estado final es idéntico al de los SCR's: aparición de un canal de fusión que perfora de lado a lado la pastilla de silicio.

II.28.- Encapsulado del TRIAC.

El tipo de encapsulado utilizado en los TRIAC's es igual al empleado en los SCR's, (cápsulas con hilos terminales, cápsulas atornillables, cápsulas planas), el tipo escogido depende de la intensidad nominal del TRIAC. Se pueden encontrar desde intensidades inferiores a 1 A hasta 400 A eficaces; como por ejemplo, los encapsulados TO-90, TO-5 y TO-126 para intensidades de 0.8, 2.5, y 4 A eficaces, respectivamente.

CON
A DE ORIGEN

Los encapsulados metálicos de tornillo se emplean en toda la gama de 5 a 200 A eficaces, de los cuales se puede mencionar el TO-64 para 12 A y el TO-48 disponible para intensidades de 15, 25 y 40 A eficaces. Actualmente, se emplean mucho las cápsulas TO-220 en TRIAC's de 6 a 15 A y la TO-3P de 25 a 40 A eficaces.

11.29 - Elementos de Disparo del SCR y del TRIAC.

Los elementos de disparo, son dispositivos semiconductores utilizados frecuentemente como auxiliares en el disparo por puerta de TRIAC's y SCR's en aplicaciones de control por variación del ángulo de conducción. Esta clase de dispositivos pueden clasificarse en dos tipos que son:

- a). Bidireccionales.
- b). Unidireccionales.

Los elementos de disparo bidireccionales pueden dispararse y conducir corriente con ambas polaridades de corriente alterna y se utilizan en circuitos de disparo que contengan TRIAC's.

Por su parte, en los elementos de disparo unidireccionales el disparo y la conducción de corriente puede efectuarse en una sola dirección y generalmente se encuentran en circuitos de disparo para SCR's, no obstante si se cuenta con un circuito extra de soporte (por ejemplo, un transformador de impulsos), se pueden emplear en circuitos de disparo para TRIAC's.

Para cumplir con su objetivo estos dispositivos semiconductores se conectan en serie con la puerta del SCR o TRIAC. El voltaje de alimentación debe ser de corriente alterna y en el caso del SCR se puede rectificar si es necesario.

Por su parte, el voltaje V_1 puede ser de corriente alterna si el elemento de disparo es bidireccional o corriente continua si el elemento de disparo empleado es unidireccional.

Siempre que el circuito de control entregue un voltaje inferior al voltaje de ruptura del elemento de disparo, éste permanecerá bloqueado e impedirá la circulación de la corriente de puerta en el SCR o TRIAC. Una vez que el circuito de control proporciona un voltaje mayor al voltaje de ruptura, el elemento de disparo conducirá produciendo la inyección de un impulso de voltaje en la puerta que conmutará del estado de bloqueo al de conducción al SCR o TRIAC utilizado. Modificando el instante en que se supera el voltaje de ruptura se consigue variar la potencia aplicada en la carga.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La importancia de los elementos de disparo radica en el auxilio que prestan para eliminar ciertas desventajas que presentan los SCR's y TRIAC's, las cuales generan inestabilidad al circuito, y se manifiestan en un cambio no deseado en la corriente de carga. Estas desventajas son:

a). Dependencia de la temperatura.- Un SCR o TRIAC tiende a cebarse a más baja corriente a medida que aumenta la temperatura (la corriente de puerta IGT disminuye). Por tanto, un cambio en la temperatura produce un cambio en la corriente de carga.

b). Cebado inconsistente entre varios dispositivos del mismo tipo.- Los SCR's y TRIAC's presentan desviaciones en sus características eléctricas con respecto al grupo al cual pertenecen. Esto significa que dos SCR's o TRIAC's del mismo tipo dado, pueden tener diferencias grandes en sus características eléctricas, la variación en la corriente IGT es la diferencia más seria.

Los elementos de disparo tienen la ventaja de presentar independencia de la temperatura y su voltaje de disparo puede mantenerse consistente en todas las unidades del mismo tipo. Por lo que las imperfecciones del TRIAC o SCR no tienen importancia dado que el elemento de disparo es el que determina el punto de disparo.

II.30 - El DIAC.

El DIAC (Diode Alternating Current o Diodo para Corriente Alterna), es un dispositivo semiconductor que puede dispararse en cualquier dirección. Tiene dos terminales que son: ánodo 1 y ánodo 2. Cuando el ánodo 1 es positivo con respecto al ánodo 2, las capas semiconductoras de interés particular son P1N2P2 y N3. Para el ánodo 2 positivo con respecto al ánodo 1, las capas aplicables son P2N2P1 y N1.

El comportamiento de este elemento es descrito por su curva característica, en ella se puede observar que para cualquier dirección, existe un voltaje de ruptura que provocará el disparo del dispositivo. Los voltajes de ruptura son muy cercanos en magnitud, pero pueden variar desde un mínimo de 28 V hasta un máximo de 42 V.

II.31 - El SBS.

El SBS (Silicon Bilateral Switch o Interruptor Bilateral de Silicio), es un dispositivo semiconductor bidireccional de tres terminales, utilizado para el disparo de TRIAC's.

TRIC CON
FALLA DE ORIGEN

Este dispositivo presenta dos estados de trabajo descritos por su curva característica voltaje-corriente, en ella se puede ver que mientras el voltaje aplicado entre las terminales A2 y A1 para ambas polaridades positiva y negativa sea inferior al voltaje de ruptura +V_{B0} o -V_{B0} respectivamente; el SBS se encontrará en el estado de corte.

En el momento en que se alcance el voltaje de ruptura en cualquier dirección, el SBS conmutará del estado de corte al de conducción, permitiendo la circulación de corriente a través de él, mientras disminuye el voltaje entre las terminales A2 y A1. El voltaje de ruptura más popular para el SBS es de ± 8 V y la caída de tensión entre sus terminales es del orden de 1 V. La curva característica es para cuando la terminal de puerta se encuentra desconectada. Sin embargo, el SBS es bastante útil aún sin su terminal de puerta. Para utilizar el SBS sin dicha terminal el dispositivo debe instalarse en serie con la puerta del TRIAC.

La terminal de puerta se utiliza para modificar la operación básica voltaje-corriente del SBS. Si se provoca el flujo de corriente entre A2 y la puerta, el voltaje de disparo para polarización positiva +V_{B0} se reduce a 1 ó 2 V, en tanto que el voltaje de disparo en inversa sin cambio.

II.32.- El SUS.

El SUS (Silicon Unilateral Switch o Conmutador Unilateral de Silicio), es un dispositivo semiconductor unilateral de tres terminales, destinado esencialmente al disparo del SCR. De acuerdo con su curva característica, el SUS con polarización directa (ánodo más positivo con respecto al cátodo) permanecerá en el estado de bloqueo si el voltaje aplicado a sus terminales se mantiene inferior al voltaje de ruptura V_{B0}.

Una vez que el voltaje V_{B0} es alcanzado, el dispositivo pasará del estado de bloqueo al de conducción. Para polarización inversa (ánodo más negativo con respecto al cátodo) la ruptura puede suceder, pero solamente a un voltaje mucho mayor a V_R. Sin embargo, la ruptura en inversa es destructiva para el dispositivo. Los interruptores unilaterales de silicio son elementos de bajo voltaje y baja corriente, la mayoría de los SUS manejan un voltaje de disparo que oscila entre 6 y 8 V, y un límite de corriente menor a 1A.

Al igual que en el SBS, la terminal de puerta del SUS se utiliza para sincronizar el disparo, o bien para alterar el funcionamiento básico del dispositivo. Por ejemplo, conectando un diodo Zener entre la puerta y el cátodo del SUS, el voltaje de disparo se reduce a:

$$V_{B0} = V_z + 0.6 \text{ (volts).}$$

Cuando esto se hace, el cátodo del Zener debe conectarse a la puerta del SUS, y el ánodo del Zener debe conectarse al cátodo del SUS. Por otra parte, el SUS puede dispararse a un voltaje ánodo-cátodo muy bajo (casi 1 V), si en él existe flujo de corriente de ánodo a puerta.

II.33.- El Diodo SHOCKLEY.

El Diodo Shockley es un diodo de cuatro capas PNPN con dos terminales externas. Las características del dispositivo son exactamente iguales a las presentadas para el SCR con $I_G=0$. Como indica la característica, el dispositivo está en el estado de corte (representación en circuito abierto) hasta que se alcanza el voltaje de ruptura, en cuyo instante la condición de avalancha se desarrollará y el dispositivo se encenderá (representación en cortocircuito). Una aplicación común del Diodo Shockley es utilizarlo como interruptor de disparo para el SCR.

El Diodo Shockley también conocido como diodo de cuatro capas es un elemento unidireccional (disparo en una sola dirección), su operación de disparo a diferencia del SBS y del SUS, no puede ser modificada. Estos dispositivos se encuentran disponibles con voltajes de disparo que van desde 10 hasta 400 volts.

Pueden conducir grandes pulsos de corriente si éstos son de corta duración. Algunos diodos de cuatro capas pueden conducir pulsos de corriente de hasta 100 amperes.

II.34.- El UJT.

El UJT (Unijunction Transistor o Transistor Monounión), es un dispositivo semiconductor de tres terminales con un bajo consumo de potencia en condiciones de operación normal; presenta un cambio súbito o basculante del estado de bloqueo al de conducción tan pronto se rebasa un valor de tensión característico denominado tensión de pico VP.

El comportamiento báscula del UJT, que sólo es posible si entre sus terminales base 1 y base 2 se ha aplicado una tensión auxiliar que se le designa como tensión interbase VBB, tiene lugar en el tramo emisor-base 1 y se manifiesta con un descenso súbito de la tensión existente en el tramo emisor-base 1 provocado por el aumento de la corriente de emisor después de conmutar. Por otra parte, esta tensión auxiliar VBB también propicia la circulación de corriente entre bases cuando la tensión emisor-base 1 es nula.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El UJT se construye básicamente, con una barra de material de silicio tipo N ligeramente impurificado (característica de mayor resistencia). Las terminales de base se forman al unir dos contactos en ambos extremos de una superficie de la barra de silicio; por su parte, el emisor se forma al unir una barra de aluminio en la superficie opuesta. La frontera entre la barra de silicio tipo N y la barra de aluminio dan lugar a una unión P-N (diodo) en el dispositivo.

El circuito equivalente del UJT, está formado por dos resistores (uno fijo y otro variable) y un sólo diodo. Ambas resistencias RB1 y RB2 representan los contactos de base 1 y base 2 respectivamente. La resistencia RB1 se presenta como una resistencia variable, ya que su magnitud variará con la corriente de emisor IE. En un transistor monounión representativo, RB1 puede variar de 5 KΩ a 50 kΩ para un cambio correspondiente de IE de 0 a 50 μA. Por su parte, el diodo del circuito equivalente representa la unión P-N formada por la unión de la barra de silicio tipo N con la barra de aluminio. La resistencia de interbase RBB es la resistencia del dispositivo entre las terminales base 1 y base 2 cuando IE = 0. En forma de ecuación tenemos:

$$RBB = (RB1 + RB2) \\ IE = 0$$

RBB se encuentra por lo general dentro del intervalo de 4 a 10 KΩ. La magnitud del voltaje VRB1 (con IE = 0), se determina aplicando la regla del divisor de voltaje de la siguiente manera:

$$VRB1 = \frac{RB1 \cdot VBB}{RB1 + RB2} = \phi VBB - IE = 0$$

La letra griega ϕ se denomina razón de apagado intrínseca del dispositivo y se define mediante:

$$\phi = (RB) (1 / RB1) + (RB2) (IE) = 0$$

Para potenciales de emisor aplicados (VE) mayores que VRB1 = nVBB más la caída de voltaje directo del diodo VD (0.35 a 0.7 V) el diodo conducirá, se supone la representación en cortocircuito (en una base ideal), e IE empezará a circular a través de RB1. En forma de ecuación, el potencial de disparo del emisor está dado por:

$$VP = nVBB + VD$$

Para valores fijos de n y VD, la magnitud de VP variará conforme VBB, esto es:

$$VPt = 11VBBt + VD$$

FIN CON
PALA DE ORIGEN

CAPÍTULO III.

SISTEMA DE CONTROL BASADO EN CIRCUITOS INTEGRADOS PROGRAMABLES (PIC's).

III.1. - Introducción.

La ALU es la encargada de realizar la operación lógico-matemática que indica la instrucción decodificada. Uno de los operandos lo recibe desde el registro W y el otro desde otro registro o de la propia otra instrucción.

Tanto el banco de Registros Específicos, en el que cada registro tiene una función concreta, como el de Registros de Propósito General residen el RAM. La EEPROM de datos puede contener datos que no se desee perder al quitar la alimentación, pero su acceso esta controlado por los registros EEDATA y EEADR.

Las operaciones de E/S con los periféricos la soportan los puertos A y B. Existe un temporizador (TMR0) que se encarga de las funciones de control de tiempos. Finalmente, hay unos circuitos auxiliares que dotan al procesador de posibilidades de seguridad, reducción del consumo de energía y de RESET.

III.2. - Organización de la Memoria.

La memoria PIC16F84 se clasifica en memoria de programa y memoria de datos. La memoria de datos se divide en RAM de propósito general, y los registros de función específica (SFR; "Special Function Register"). Y también contiene la memoria EEPROM de datos. Esta memoria está indirectamente "mapeada", es decir, un indicador de dirección indirecta especifica la dirección de la memoria EEPROM de datos para Leer/Escribir. Los 64 bytes de la memoria EEPROM de datos tienen el rango de 00H a 3FH.

III.3. - Memoria de Datos.

La memoria de datos PIC16X84 dispone de dos zonas diferentes:

1.- Área de RAM estática o SRAM; donde reside el banco SFR's y el banco de GPR's. El primer banco tiene 24 posiciones de tamaño byte, aunque dos de ellas no son operativas, y el segundo 36 (68 en el PIC16F84).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.- Área EEPROM; de 64 bytes donde, opcionalmente, se pueden almacenar datos que no se pierden al desconectar la alimentación.

La zona de memoria RAM se halla dividida en dos bancos (banco "0" y banco "1") de 128 bytes cada uno como se muestra en la figura III.1.

MEMORIA DE DATOS (RAM)			
BANCO 0		BANCO 1	
00	INDE*	INDE*	80
01	TMR0	OPCION	81
02	PCI	PCI	82
03	ESTADO	ESTADO	83
04	FSR	FSR	84
05	PUERTO A	TRIS A	85
06	PUERTO B	TRIS B	86
07			87
08	EEDATA	EECON1	88
09	EEDADR	EECON2*	89
0A	PCLATH	PCLATH	8A
0B	INTCON	INTCON	8B
0C			8C
36 Registros de		Mapeados en el	
		Banco 0	
4F	Propósito		CF
50	General.		DO
(68 para el PCI6F84)			
7F			FF

*No implementado Físicamente

Figura III.1.- Distribución de los Bancos de Memoria.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el PIC16C84 sólo se hallan implementadas físicamente las 48 primeras posiciones de cada banco, mientras que en el PIC16F84 son 80; de las cuales las 12 primeras están reservadas a los Registros de Función Específica, que son los encargados del control del procesador y sus recursos. Algunos de estos registros se hallan repetidos en la misma dirección de los bancos, para simplificar su acceso (INDF, ESTADO, FSR, PCLATH e INTCON).

La posición apuntada por la dirección 07H y la apuntada por la 87H no son operativas. Los 36 registros restantes de cada banco (68 PIC16F84) se destinan a los Registros de Propósito General y en realidad sólo son operativos los 36 (68) del banco "0" porque los del banco "1" se mapean sobre el banco "0"; es decir, cuando se apunta un registro del banco "1", se accede al mismo del banco "0".

III.3.1.- Direccionamiento de la Memoria de Datos.

La memoria de datos de la gama media se organiza en un máximo de 4 bancos, cada uno de los cuales puede constar de hasta 128 posiciones de tamaño byte. Para seleccionar el banco y la posición para acceder existen los siguientes dos modos de direccionamiento:

a) Direccionamiento Directo.- Los 7 bits de menos peso del Código de Operación de la instrucción proporcionan la dirección de la posición de un banco. Los bits RP1 y RP0 del registro ESTADO <6:5>, seleccionan el banco como se muestra en la figura III.2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CÓDIGO DE OPERACIÓN (OP)

13 12 11 10 09 08 07 06 05 04 03 02 01 00

REGISTRO ESTADO

07 06 05 04 03 02 01 00

BANCO 0
00

BANCO 1
01

BANCO 2
02

BANCO 3
03

00
01

FF

Figura III.2.- Direccionamiento Directo.

En el caso del PIC16X84 sólo se usa el bit RPO al tener implementados únicamente dos bancos.

b) Direccionamiento Indirecto. - En este caso el operando de la instrucción hace referencia al registro INDF, que ocupa la posición 0H del área de datos. En realidad el registro INDF no está implementado físicamente por lo que no se podrá acceder a él, y cuando se le hace referencia se accede a la posición que apunta el registro FSR, que se halla situado en la posición 4H del banco "0".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los 7 bits de menos peso de FSR <6:0> seleccionan la posición y su bit de más peso junto con el bit IRP del registro ESTADO <7>, seleccionan el banco, como se ve en la figura III.3.

Si se intenta leer el registro INDF siempre encontrará 00H, y si se intenta escribir en él se producirá un NOP, es decir una instrucción que no hace nada.

Como sólo hay dos bancos en el PIC16X84 en este modo de direccionamiento, el estado del bit IRP se ignora.

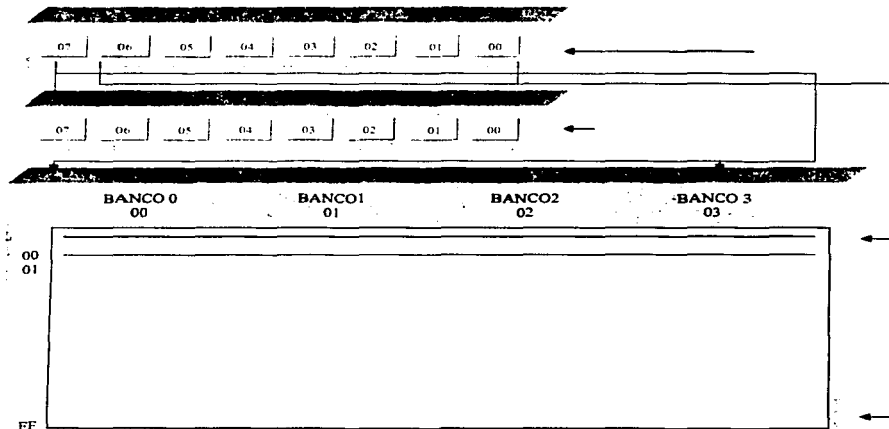


Figura III.3.- Direccionamiento Indirecto.

III.3.2 - Memoria de Programa.

La Arquitectura de los PIC de la gama media admite un mapa de memoria de programa capaz de contener 8192 (8K) instrucciones de 14 bits cada una. Este mapa se divide en páginas de 2048 posiciones. Para direccionar 8K posiciones se necesitan 13 bits como se muestra en la Tabla III.1, que es la longitud que tiene el Contador del Programa. Sin embargo, el PIC16X84 sólo tiene implementadas 1K posiciones, por lo que ignora los 3 bits de más peso del Contador de Programa (PC).

VALOR HEXADECIMAL	EQUIVALENTE DECIMAL	EQUIVALENTE BINARIO
000	0	000000000000
3FF	1023	000111111111
1FFF	8191	111111111111

Tabla III.1. Bits de Direccionamiento.

Bits de mas peso ignorados del PC

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.3.3.- El Contador de Programa, Pila y Registros PCL Y PCLATH.

Tal como se muestra en la figura III.4, el rango de direcciones que cubre el PIC16X84 en su memoria de programa llega desde la 0000H-03FFH, o sea, un total 1024 posiciones.

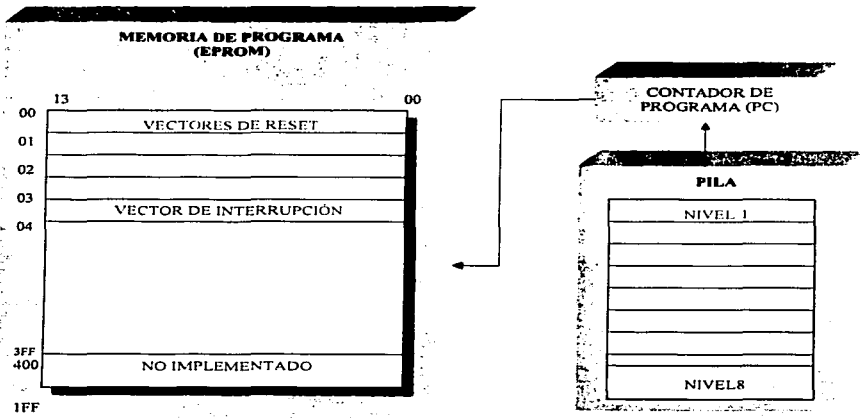


Figura III.4.- Memoria de Programa del PIC16X84.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el Contador de Programa (PC), se ignoran los tres bits de más peso de tal forma que apuntar a la dirección 33H es lo mismo que hacerlo a la 433H, 833H, C33H, 1033H, o a la 1C33H.

Al igual que todos los registros específicos que controlan la actividad del procesador, el PC está implementado sobre un par de posiciones de la memoria RAM. Cuando se escribe el PC como resultado de una operación de la ALU, los 8 bits de menos peso del PC residen en el registro PCL, que ocupa repetido, la posición 02H de los dos bancos de la memoria de datos. Los bits de más peso del PC <12:8>, residen en los 5 bits de menos peso del registro PCLATH como se muestra en la figura III.5 que ocupa la posición 0AH de los bancos de la memoria RAM como se estudió en la figura III.1.

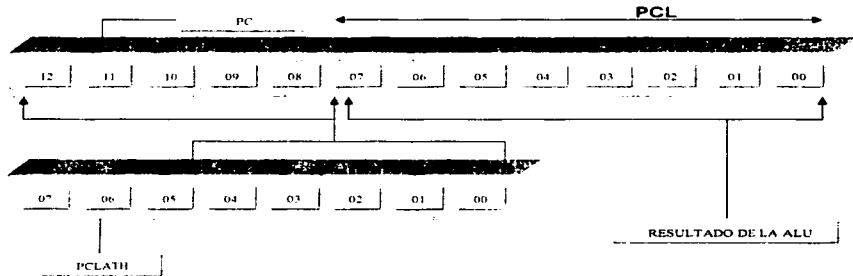


Figura III.5.- Carga del Contador de Programa (PC) con el Resultado de la ALU.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En las instrucciones GOTO y CALL de la gama media de los 11 bits de menos peso del PC provienen del Código de Operación (OP) y los otros dos de los bits PCLATH <4:3>. Como se muestra en la figura III.6.

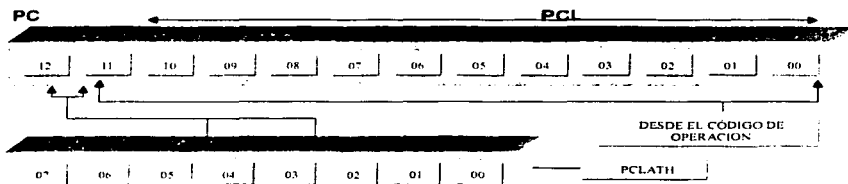


Figura III.6. - Carga del PC Durante las Instrucciones GOTO y CALL.

Con los 11 bits que se cargan en el PC desde el código de las instrucciones GOTO y CALL a través del decodificador de instrucciones, se puede direccionar una página de 2K de la memoria. Los bits restantes del PC <12:11> tienen la misión de apuntar una de las cuatro páginas de memoria y, en los modelos de PIC que alcanzan ese tamaño dichos bits proceden de PCLATH <4:3>.

La PILA es la zona aislada de las memorias de instrucciones y datos. Tiene una estructura LIFO, en la que el último valor guardado es el primero que sale. Tiene ocho niveles cada uno con 13 bits. Funciona como un "buffer circular", de manera que el valor que se obtiene al realizar el noveno desempilado es igual al que se obtuvo en el primero.

La instrucción CALL y las interrupciones originan la carga del contenido del PC en el nivel superior o cima de la PILA. El contenido del nivel superior se saca de la PILA al ejecutar las instrucciones RETURN, RETLW y RETFIE. El contenido del registro PCALTH no es afectado por la entrada o salida de información de la PILA. Los vectores RESET e INTERRUPTIÓN se analizarán posteriormente.

TIENE CON
FALLA DE ORIGEN

III.3.4.- Memoria EEPROM de Datos.

EL PCI6X84 contiene una EEPROM de datos de 16 bytes. Esta Memoria no forma parte del espacio direccionable normal, y sólo es accesible para lectura/ escritura a través de 2 registros: EEDATA en la dirección 08H del banco "0", en el que se depositan los datos que se leen o se escriben, y EEDAR en la dirección 09H del banco "0", en el que se cambia la dirección a acceder de la EEPROM de datos. Las 64 posiciones de un byte ocupan las direcciones de un mapa que comienza en 00H y termina en 3FH, por eso los 2 bytes de más peso en el registro EEDAR siempre valen 0.

El registro EECON1 en la dirección 88 del banco "1" tiene funciones de control de las operaciones en la EEPROM. La distribución de sus bits se muestra en la figura III.7, y la Tabla III.2 muestra la función de cada uno de estos.



Figura III.7.- Distribución de los Bits de Registro EECON1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIT	FUNCIÓN
Bit 0 = RD (Read Data)	Lectura de datos. 1 = Habilita la lectura de datos. 0 = Estado normal (cambia automáticamente).
Bit 1 = WR (Write Data)	Escritura de datos. 1 = Habilita la escritura de datos. 0 = Estado normal (cambia automáticamente).
Bit 2 = WREN (Write ENable)	Permiso de escritura. 1 = Permite la escritura de la EEPROM. 0 = Prohíbe la escritura de la EEPROM.
Bit 3 = WRERR (Write ERRor)	Señalizador de errores de escritura. 1 = Cuando una operación de escritura ha registrado errores. 0 = La operación de escritura se ha completado correctamente.
Bit 4 = EEIF (EEPROM Interrupt Flag)	Señalizador de fin de operación de escritura. 1 = La operación de escritura se ha realizado correctamente (se pone el 0 por software). 0 = La operación de escritura no se ha completado.

Tabla III.2.- Descripción de los Bits del Registro EECON1.

Esta memoria EEPROM no emplea ningún recurso de alimentación externo, y funciona en todo el rango de alimentación permitido para el PIC16X84. Su duración típica de programación es de 10 ms, que resulta muy larga para la velocidad del procesador. Por este motivo existen varios bits en el registro EECON1 para supervisar la completa y correcta programación.

El registro EECON2 en realidad no está implementado físicamente; al leerlo todos sus bits son 0. Sólo se emplea como dispositivo de seguridad durante el proceso de escritura de la EEPROM, para evitar las interferencias en el largo intervalo de tiempo que precisa su desarrollo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.3.5 - Registros de Configuración y Control.

En esta sección describiremos los registros internos de la memoria RAM, aunque ésta descripción se haga individualmente, existen vínculos entre registros de acuerdo con la arquitectura, como se analizó anteriormente con los registros INDF, PCL, PCLATH, FSR, EECON1, EECON2, EEADR Y EEDATA que ya no se incluyen en el presente capítulo.

El registro TMR0 por su dependencia con otros dispositivos dentro de la propia arquitectura y para comprender mejor su interacción entre ellos, se analizarán como parte de la función específica de temporización.

1.- El registro de estado.- Este registro ocupa la dirección 03H tanto del banco "0" como del banco "1". Sus bits tienen 3 funciones distintas:

Se encarga de avisar las incidencias del resultado de la ALU.

Indican el estado de RESET.

Seleccionan el banco de memoria a acceder.

Comentario:

En la figura III.8 se muestra el diagrama de distribución de los bits del registro ESTADO.

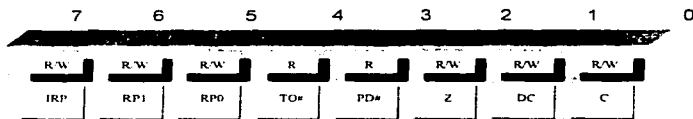


Figura III.8.- Estructura Interna del Registro ESTADO.

Los bits TO# y PD# indican el estado del procesador en algunas condiciones y no se pueden escribir, son de sólo lectura (R) a diferencia del resto que se pueden tanto leer como escribir (R/W). Por este motivo la instrucción *clrf ESTADO* deja el contenido de dicho registro con el valor *000uu1uu* (*u= no cambia*). Sólo se ponen a 0 los 3 bits de más peso, el bit Z (Zero-Cero) se pone a 1 y los restantes no alteran su valor.

La Tabla III.3 muestra la nomenclatura y función de cada uno de los bits del registro ESTADO, y la Tabla III.4 muestra valores que toman los bits TO# y PD# después de producirse un RESET.

BIT

Bit 0 = C (Carry)

Bit 1 = DC (Digit Carry)

Bit 2 = Z (Zero)

Bit 3 = PD# (Power Down)

Bit 4 = TO# (Time Out)

Bit 5 y 6 = RP0 y RP1

Bit 7 = IRP

FUNCIÓN

Acarreo en el bit de más peso (8° Bit).

1 = Acarreo en la suma y no en la resta.

0 = Acarreo en la resta y no en la suma.

Cambia con las instrucciones ADDWF, SUBWF y ADDLW.

Acarreo en el 4° bit de menos peso.

1 = Acarreo en la suma y no en la resta.

0 = Acarreo en la resta y no en la suma.

Cambia con las instrucciones ADDWF, SUBWF Y ADDLW, y está orientado a la aritmética en BCD.

1 = El resultado de una operación es 0.

0 = El resultado es diferente de 0.

1 = Tras conectar Vdd o ejecutar CLRWDT.

0 = Al ejecutar la instrucción SLEEP.

1 = Tras conectar Vdd o ejecutar CLRWDT o SLEEP.

0 = Al rebasar (desbordamiento) el tiempo del WDT.

Selección de la página de memoria de programa (para PIC's con 4 bancos de memoria):

00 = Banco 0 10 = Banco 2

01 = Banco 1 11 = Banco

3

Selección de bancos para direccionamiento indirecto.

Este bit junto con el de más peso en el registro FSR, sirven para determinar el banco de la memoria de datos seleccionado.

0 = Bancos 0 y 1.

1 = Bancos 2 y 3.

En el PIC16X84 al disponer de sólo dos bancos, no se usa este bit y debe programarse como 0.

Tabla III.3.- Descripción y Función de los Bits del Registro ESTADO.

TO#	PD#	Estado tras el RESET
0	0	Fin del WDT del modo SLEEP.
0	1	Fin del WDT en el modo normal.
1	0	MCLR# activada durante el modo SLEEP.
1	1	Conexión Vdd.
U	U	MCLR# se mantiene en 0.

Tabla III.4.- Estados de los Bits TO# y PD# tras un RESET.

2.- El registro OPCIÓN. - La función principal de este registro es controlar el TMR0 y el divisor de frecuencia (*Pre-scaler*), ocupa la posición 81H en la memoria de datos, que equivale a la dirección 01H del banco 1. La figura III.9 muestra la distribución de los bits del registro OPCIÓN. La Tabla III.5 muestra la nomenclatura y función de cada uno de los bits del registro OPCIÓN.

REGISTRO OPCIÓN.

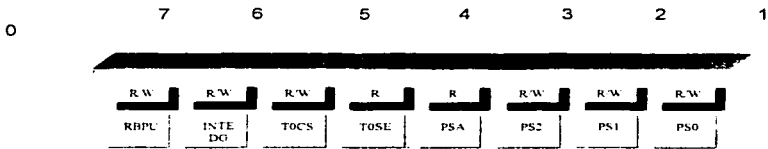


Figura III.9.- Estructura Interna del Registro OPCIÓN.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

BIT

Bits 0-2 = PS0, PS1 y PS2
(PreScaler Bit)

Bit 3 = PSA
(PreScaler Assignment)

Bit 4 = T0SE
(Timer 0 Clock Source Select)

Bit 5 = T0CS
(Timer 0 Clock Edge Select)

Bit 6 = INTDG
(Interrupt Edge)

Bit 7 = RBPU#
(RB Pull-Up)

FUNCIÓN

Valor con el que actúa el divisor de frecuencia.

PS2	PS1	PS0	Div del TMR0	Div del WDT
0	0	0		1:2
1:1	0	0	1	1:4
1:2	0	1	0	1:8
1:4	0	1	1	1:16
1:8	1	0	0	1:32
1:16	1	0	1	1:64
1:32	1	1	0	1:128
1:64	1	1	1	1:256

Asignación del divisor de frecuencia.

1 = El divisor de frecuencia se le asigna al WDT.

0 = El divisor de frecuencia se le asigna al TMR0.

Tipo de flanco en el TOCKI.

1 = Incremento del TMR0 cada flanco descendente.

0 = Incremento del TMR0 cada flanco ascendente.

Define el tipo de reloj para el TMR0.

1 = Pulsos introducidos a través de TOCKI (contador)

0 = Pulsos de reloj interno Fosc/4 (temporizador).

Tipo de flanco para la interrupción.

1 = Flanco ascendente.

0 = Flanco descendente.

Conexión de resistencias Pull-Up en el Puerto B.

1 = Desactivadas.

0 = Activadas.

Tabla III.5.- Funciones de los Bits del Registro OPCION.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3- El registro de interrupciones INTCON: Puesto que los microcontroladores PIC de la gama media admiten interrupciones, requieren un registro encargado de su regulación y se encuentra implementado en la dirección 0B. Los tres bits de menos de menos peso del registro INTCON son señalizadores. En la figura III.10 se muestra la distribución de los bits del registro INTCON y la Tabla III.6 muestra la nomenclatura y función de los bits del registro INTCON.

REGISTRO INTCON.

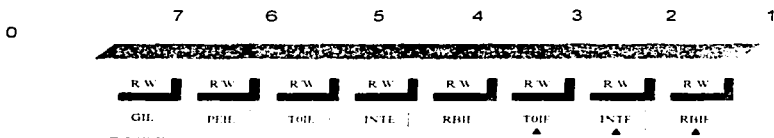


Figura III.10.- Distribución de los Bits del Registro INTCON.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

BIT	FUNCIÓN
Bit 0 = RBIF (RB Interrupt Flag)	Señalizador de cambio de estado en las terminales RB4-RB7 del puerto B. 1 = Pasa a 1 cuando cambia el estado de alguna de las terminales. 0 = No ha cambiado el estado de alguna de las terminales.
Bit 1 = INTF (INTerrupt Flag)	Señalizador de activación de la terminal RBO/INT. 1 = Al activarse RBO/INT. 0 = RBO/INT no se ha activado.
Bit 2 = TOIF (Timer 0 Interrupt Enable)	Señalizador de desbordamiento del TMR0. 1 = Cuando ha ocurrido el desbordamiento. 0 = Indica que el TMR0 no se ha desbordado.
Bit 3 = RBIE (RB Interrupt Enable)	Activación de interrupción por cambio de estado en las terminales RB4-RB7 del puerto B. 1 = Permite esta interrupción. 0 = Prohíbe esta interrupción.
Bit 4 = INTE (Interrupt Enable)	Activación de la interrupción en la terminal RBO/INT. 1 = Permite la interrupción al activarse RBO/INT. 0 = Prohíbe esta interrupción.
Bit 5 = TOIE (Timer 0 Interrupt Enable)	Permiso de interrupción por desbordamiento del TMR0. 1 = Permite la interrupción al desbordarse el TMR0. 0 = Prohíbe esta interrupción.
Bit 6 = PEIE (PERipheral Interrupt Enable)	Activación de la interrupción de periféricos (comparador). 1 = Permite la interrupción de periféricos. 0 = prohíbe esta interrupción.
Bit 7 = GIE (Global Interrupt Enable)	Activación global de interrupciones. 1 = Permite la ejecución de todas las interrupciones (separadamente de sus bits individuales). 0 = Prohíbe el permiso de interrupciones.

Tabla III.6.- Funciones de los Bits del Registro INTCON.

III.4.- Puerto "A" y Tris "A".

El PUERTO A dispone de 5 bits. Las líneas RA0 a RA3 están dispuestos conforme a la figura III.11. Todas están provistas como salidas con un "Buffer" CMOS normal, y como entradas aceptan niveles TTL.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El sentido de trabajo de todas las líneas del PUERTO "A" lo controla el registro TRIS "A", en el que un bit a 0 activa a la línea correspondiente como salida, y un bit a 1 la activa como entrada, después de un RESET, todos los registros TRIS "A" toman el valor de 1.

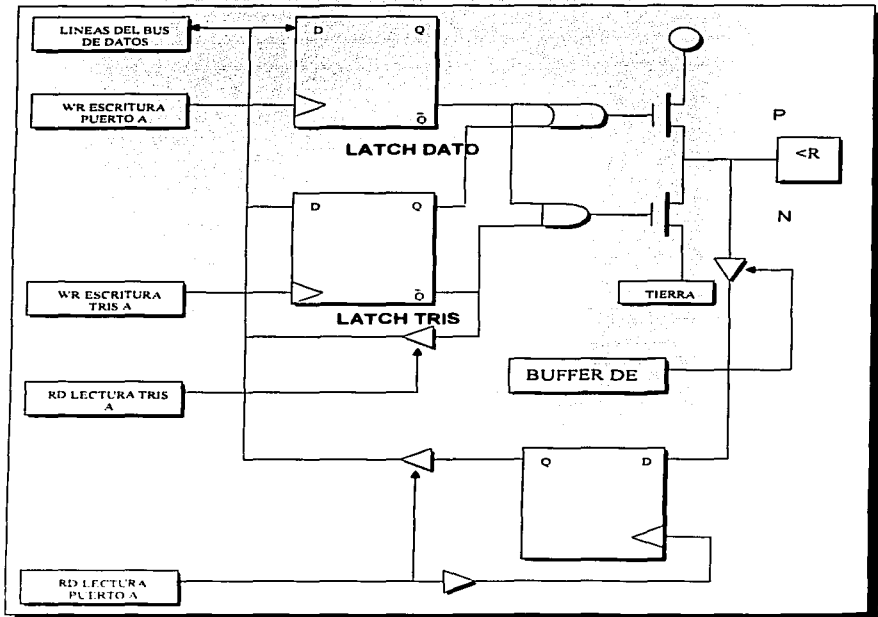


Figura III.11.- Conexión Interna de las Terminales <RA3:RA0> del PUERTO "A" con las Líneas de Control y el Bus de Datos del Procesador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando se lee una línea del PUERTO "A" se recoge el nivel lógico que tiene en ese momento. Las líneas cuando actúa como salidas pasan a través de un LATCH, lo que significa que sus terminales sacan el nivel lógico que se haya cargado por última vez en el registro PUERTO "A". La escritura de un puerto implica que primero se lea el PUERTO "A", luego se modifique el valor y finalmente se escriba en el LATCH de salida.

Cuando se saca un nivel lógico por una línea del PUERTO "A", primero se deposita en la línea correspondiente del bus interno de datos y se activa la señal WRITE (WR), lo que origina el almacenamiento de este nivel en el LATCH DATO. En esta situación el LATCH TRIS debería contener un 0 para que actuase como salida.

Con estos valores la puerta OR y AND tendrían un 0 en sus salidas. Estos valores producen la conducción del transistor P-MOS y al bloqueo del transistor N-MOS. Así la terminal de E/S queda conectada a Vd-d y tiene un nivel alto. La línea de salida conserva su valor hasta que no se escriba en el LATCH.

Si una línea actúa como entrada, el nivel lógico depositado en ella desde el exterior pasa a línea correspondiente del bus interno de datos cuando se activa la señal READ (RD) y se hace conductor el dispositivo triestado que les une. Al programarse en el LATCH TRIS la línea del puerto como entrada, los dos transistores MOS de salida quedan bloqueados y la línea en alta impedancia. Hay que tomar en cuenta que cuando se lee una línea de entrada se obtiene el estado actual que tenga su terminal correspondiente y no el valor que se haya almacenado en el LATCH DATO.

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

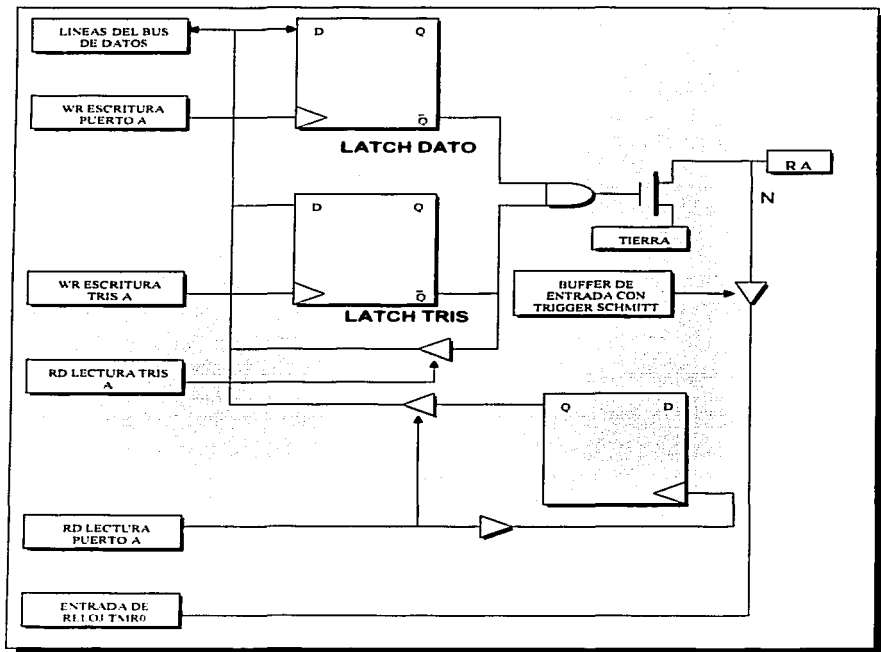


Figura III.12.- Diagrama de Conexión de la Línea RA4 del Puerto "A".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como puede verse en la figura III.12 la línea RA4 del PUERTO "A" tiene una estructura algo diferente, en este caso la salida es de tipo drenador abierto, y la entrada está provista de un Schmitt-Trigger misma que está conectada con la entrada externa del temporizador TMR0.

III.5 - Puerto "B" y Tris "B"

Consta de 8 líneas bidireccionales de E/S <RB7:RB0>, cuya información se almacena en el registro PUERTO "B", que ocupa la dirección 06H del banco "0" de la memoria de datos. El registro de configuración TRIS "B" ocupa la misma dirección en el banco "1" como se analizó en la figura III.4.

La línea RB0 / INT tiene dos funciones, además de ser una línea de E/S actúa como terminal de petición de una interrupción externa, cuando se autoriza ésta función mediante la programación del registro INTCON.

A todas las líneas de este puerto se les puede conectar una resistencia *pull-up* a través de la configuración del bit RBPU # = 0 del registro OPTION.

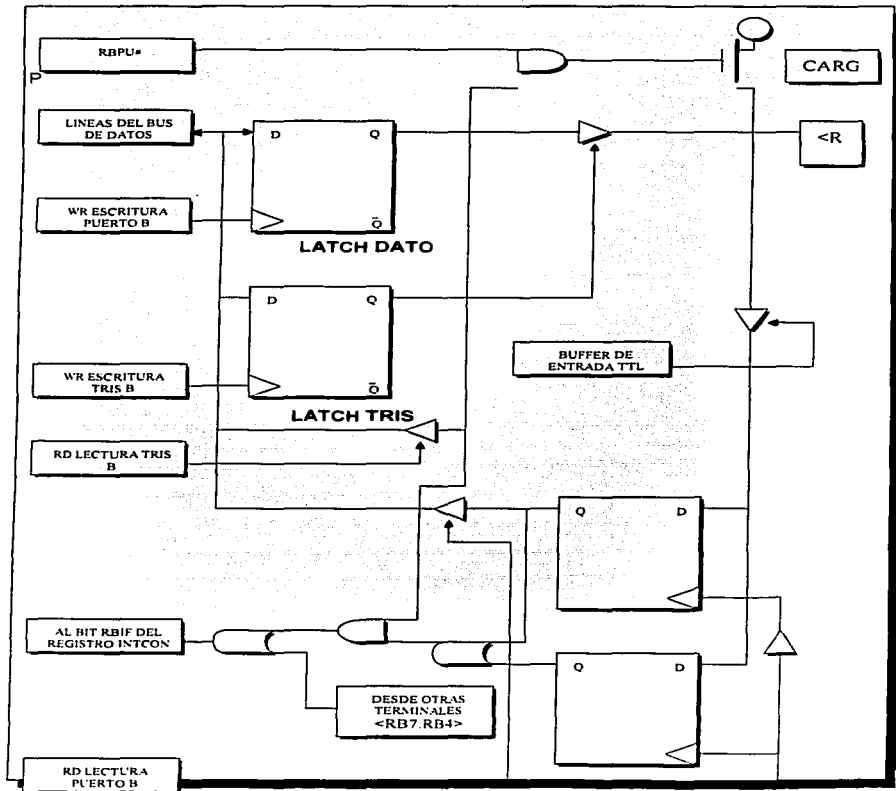
El sentido de trabajo de todas las líneas del PUERTO "B" lo controla el registro TRIS "B", en el que un bit a 0 activa a la línea correspondiente como salida, y un bit a 1 la activa como entrada, después de un RESET, todos los bits del registro TRIS "B" toman el valor de 1 y se desactivan las resistencias *pull-up*.

Las 4 líneas <RB7:RB4>, pueden programarse para generar una interrupción si una de ellas cambia su estado lógico. En la figura III.13 se muestra el esquema de conexión entre las terminales <RB7:RB4> y las líneas correspondientes del bus de datos interno.

El estado de las terminales <RB7:RB4> configuradas como entradas se compara con el valor anterior que tenían y que se había almacenado en un latch durante la última lectura del PUERTO B. El cambio de estado de alguna de esas líneas origina una interrupción y la activación del señalizador RBIF.

La línea RB6 también se utiliza para la grabación serie de la memoria del programa y sirve para soportar la señal de reloj. La línea RB7 constituye la entrada de los datos en serie.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura III.13.- Diagrama de Conexión de las Terminales <RB7:RB4> del PUERTO "B".

La figura III.14 muestra el diagrama de conexión de las líneas <RB3:RB0>. La línea punteada indica que la terminal RB0 / INT cuenta además con un buffer Schmitt Trigger para la función de interrupción externa.

En la Tabla III.7 se presenta un resumen de las características y funciones de las terminales del PUERTO "B", en donde ST1 es el buffer Schmitt-Trigger habilitado cuando la terminal es configurada para la función de interrupción externa y ST2 es el buffer Schmitt-Trigger habilitado cuando la terminal es usada para la programación serial del microcontrolador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

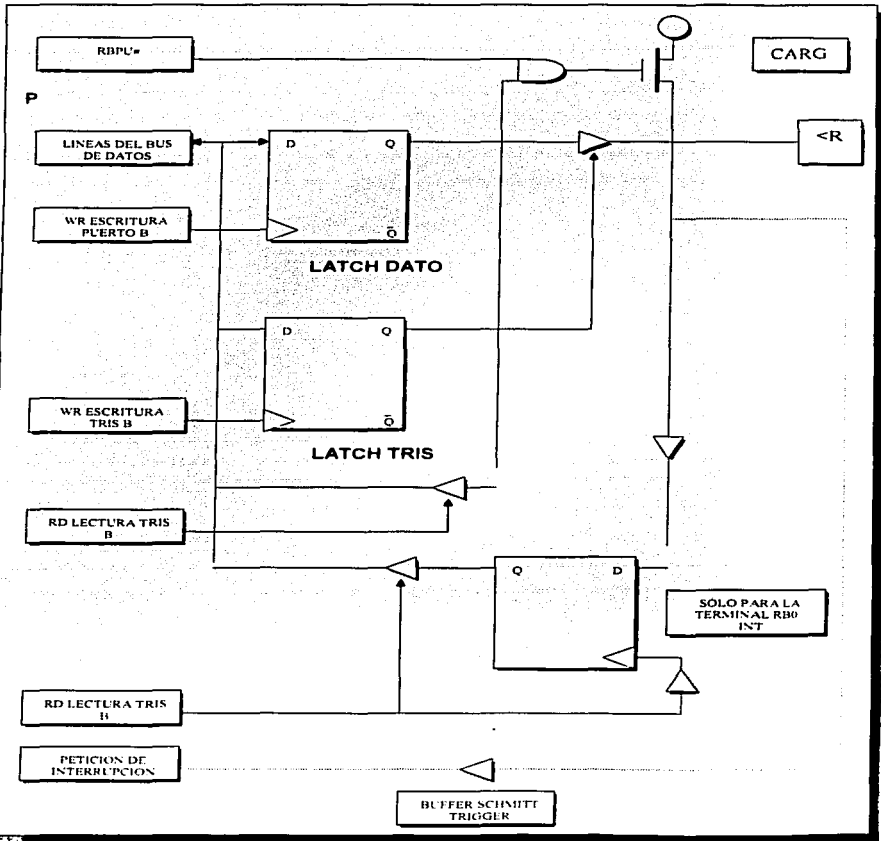
NOMBRE RBO / INT	BIT	TIPO DE BUFFER	FUNCIÓN
	Bit 0	TTL / ST	Terminal de I/O o entrada de interrupción externa. Carga interna programable por software.
RB1	Bit 1	TTL	Terminal I/O. Carga pull-up programable por software.
RB2	Bit 2	TTL	Terminal I/O. Carga pull-up programable por software.
RB3	Bit 3	TTL	Terminal I/O. Carga pull-up programable por software.
RB4	Bit 4	TTL	Terminal I/O (interrupción con cambio lógico de estado). Carga pull-up programable por software.
RB5	Bit 5	TTL	Terminal I/O (interrupción con cambio lógico de estado). Carga pull-up programable por software.
RB6	Bit 6	TTL / ST2	Terminal I/O (interrupción con cambio lógico de estado). Carga pull-up programable por software. Reloj de programación serial.
RB7	Bit 7	TTL / ST2	Terminal I/O (interrupción con cambio lógico de

5
FALLA DE ORIGEN

estado). Carga
pull-up
programmable por
software. Datos de
programación
serial.

Tabla III.7.- Resumen de Funciones de las Terminales del PUERTO "B".

TIENE CON
FALLA DE ORIGEN



TEST CON FALLA DE ORIGEN

85

Figura III.14.- Diagrama de Conexión de las Terminales <RB3:RB0> del PUERTO "B".

III.5.1 - La Palabra de Configuración.

Se trata de una posición reservada de la memoria de programa situada en la dirección 2007H y accesible únicamente durante el proceso de grabación. Al escribirse el programa de la aplicación es necesario grabar el contenido de esta aplicación de acuerdo con las características del sistema.

En la figura III.15 se muestra la distribución y asignación de los 14 bits de la Palabra de Configuración de los PIC16X8X y en la Tabla III.8 se describen las funciones de cada bit.

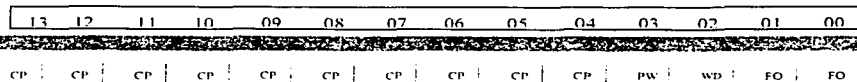


Figura III.15.- Distribución de los Bits de la Palabra de Configuración del PIC16X8X.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIT

Bit 0-1 = FOSC0, FOSC1
(Frecuency OSCilator)

Bit 2 = WDTE
(WatchDog Timer Enable)

Bit 3 = PWRTE#
(PoWeR-up Timer Enable)

Bit 4-13 = CP
(Code Protect)

FUNCIÓN

Selección del Oscilador utilizado.	
FOSC1	FOSC0
Oscilador	
0	0
LP	
0	1
XT	
1	0
HS	
1	1
RC	
Activación del WDT.	
1 = WDT Activado.	
0 = WDT Desactivado.	
Activación del Temporizador Power-up.	
1 = Desactivado.	
0 = Activado.	
Bits de protección del código de programa.	
1 = No protegida.	
0 = Protegida.	

Tabla III.8.- Función de los Bits de la Palabra de Configuración.

El temporizador *power-up* retrasa 72 ms la puesta en marcha o RESET que se produce al conectar la alimentación al PIC, para garantizar la estabilidad de la tensión aplicada.

Cuando los bits de protección del código de Programa están en 0 el programa no se puede leer, evitando copias. Además evita que se pueda acceder a la EEPROM de datos y, finalmente, si se modifica el bit CP de 0 a 1, se borra completamente la EEPROM.

Una de las diferencias que tiene el PIC16C84 es la actuación del bit PWRTE de la palabra de configuración, que tiene invertida su función en ambos. En el primero cuando ese bit = 1 el temporizador de *Power-up* está activado, mientras que sucede lo contrario en el segundo.

TESIS CON
FOLLA DE ORIGEN

III.5.2- Temporización.

Una de las labores más habituales en los programas de control de dispositivos suele ser el de determinar intervalos correctos de tiempo, el cual recibe el nombre de temporizador (*timer*). También suele ser frecuente contar los impulsos que se producen en el exterior del sistema, y el elemento destinado a este fin se denomina contador que es de tipo ascendente/descendente.

Si las labores del temporizador o contador las asignáramos al programa principal quitarían mucho tiempo al procesador con su consecuente detrimento en actividades más importantes. Por ésta razón se diseñan recursos específicamente orientados a estas funciones.

Los PIC 16FX8FX poseen un temporizador / contador de 8 bits, llamado TMR0 que tiene dos funciones:

Como contador de eventos, que están representados por los impulsos que se aplican a la terminal RA4 / TOCKI. Al llegar al valor FFH se desborda el contador, con el siguiente impulso pasa al valor 00H, activando con esto un señalizador y/o provocando una interrupción.

Como temporizador, cuando se carga en el registro TMR0 un valor inicial y se incrementa con cada ciclo de instrucción ($F_{osc} / 4$) hasta que se desborda, es decir pasa de FFH a 00H, activando con esto un señalizador y/o provocando una interrupción.

La figura III.16 ilustra las dos funciones del temporizador TMR0.

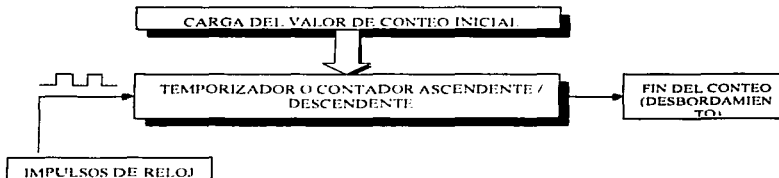


Figura III.16.- Esquema Simplificado de un Temporizador/Contador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para que el término TMR0 funcione como contador de impulsos aplicados a la terminal TOCK1 hay que poner a 1 el bit TOCS, que ocupa el bit de registro OPCIÓN. En esta situación el registro TMR0 se incrementa con cada flanco activo. El tipo de flanco activo se elige programando el bit TOSE, que ocupa el bit 4 del registro OPCIÓN; si TOSE = 1 el flanco activo es descendente, y si TOSE = 0, es ascendente. Cuando se desea que el TMR0 funcione como temporizador el bit TOCS = 0.

Los PIC 16XF8X disponen de dos temporizadores, el TMR0 y el Temporizador Perro Guardián (WDT-Watch Dog Timer). El primero actúa como principal y sobre el recae el control de tiempos y el conteo de impulsos. El otro vigila que el programa no permanezca en un ciclo infinito y para ello cada cierto tiempo comprueba si el programa se está ejecutando normalmente. En caso contrario, si el control esta detenido en un ciclo infinito el WDT genera una señal de RESET.

El TMR0 se comporta como un Registro de Función Especial ubicado en la dirección 01H del banco "0" de la memoria de datos.

A menudo el TMR0 y el WDT precisan controlar largos intervalos de tiempo y necesitan aumentar la duración de los impulsos que les incrementa. Para esto dispone de un circuito programable denominado Divisor de Frecuencia, que divide la frecuencia utilizada en diversos rangos.

Para programar el comportamiento del TMR0, el WDT y el Divisor de Frecuencia se utilizan algunos bits del registro OPCIÓN y de la Palabra de Configuración. En la figura III.17 se proporciona un esquema simplificado de la arquitectura del circuito de control de tiempos usado en los PIC 16X8X.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

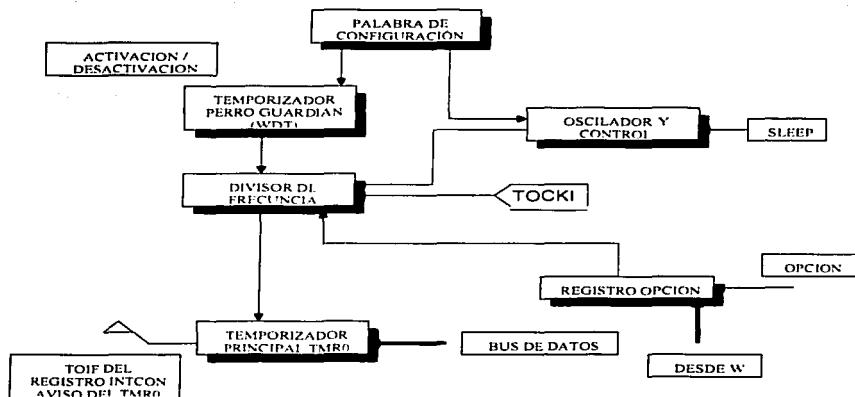


Figura III.17.- Esquema Simplificado del Control de Tiempos en la Arquitectura de los PIC16X8X.

El Divisor de Frecuencia puede usarse con el TMR0 o con el WDT. Con el TMR0 actúa como *Pre-divisor (Pre-scaler)*, es decir, los impulsos pasan primero por el Divisor y luego se aplican al TMR0 una vez aumentada su duración. Con el WDT actúa después realizando la función de *Post-divisor (Post-scaler)*. Los impulsos que divide por un rango el Divisor de Frecuencia, pueden provenir de la señal de reloj interna $F_{osc} / 4$ o de los que se aplican en la terminal TOCK1.

TMR0 puede ser leído y escrito en cualquier momento al estar conectado al bus de datos. Funciona como un contador de datos ascendente de 8 bits. Cuando funciona como un temporizador conviene cargarle con el valor de los impulsos que se requiere temporizar, pero expresados en complemento a 2. De esta manera, al desbordarse se activa el señalizador TOIF que ocupa el bit 2 del registro INTCON y se produce una interrupción.

Para calcular los tiempos a medir con el TMR0 se utilizan las siguientes fórmulas prácticas:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Temporización = $4 * T_{osc} * (\text{Valor Cargado en el TMR0}) * (\text{Rango del divisor})$.

Valor a cargar en el TMR0 = $\text{Temporización} / 4 * T_{osc} * (\text{Rango del divisor})$.

En cualquier momento se puede leer el valor que contiene TMR0, sin detener su conteo.

En la figura III.16 se muestra el esquema de funcionamiento del TMR0. Observe que hay un bloque que retrasa dos ciclos el conteo para sincronizar el momento del incremento producido por la señal aplicada en TOCKI con el que se producen los impulsos internos del reloj. Cuando se escribe en el TMR0 se retrasan dos ciclos su reincremento y se pone a 0 el divisor de frecuencia..

El bit PSA selecciona la asignación del Divisor de Frecuencia al TMR0 y al WDT.

El WDT es un contador interno de 8 bits que origina un RESET cuando se desborda. Su control de tiempos es independiente del TMR0 y está basado en una simple red RC. Su actuación es opcional y puede bloquearse para que no funcione programando el bit WDTE que ocupa el bit 3 de la Palabra de Configuración.

La temporización nominal con la que se halla programado el WDT es de 18ms, pero utilizando el Divisor de Frecuencia puede aumentarse hasta alcanzar los 2.3 segundos.

Para evitar que se desborde el WDT y genere un RESET, hay que recargar o refrescar su cuenta antes de que llegue a su desbordamiento. Este refresco, que en realidad consiste en ponerlo a 0 para iniciar la temporización, se consigue por software con las instrucciones CLRWDT y SLEEP. La instrucción CLRWDT borra el WDT y reinicia su cuenta. A diferencia de la instrucción SLEEP, además de borrar WDT detiene el sistema y lo mete a un estado de reposo o bajo consumo. Si no se desactiva el WDT al entrar en el modo SLEEP, al completar su conteo provocará un RESET y sacará al microcontrolador del modo de bajo consumo.

En el registro ESTADO existe un bit denominado TO# que pasa a valer 0 después del desbordamiento del WDT.

III.5.3 - Interrupciones y Reset.

Las llamadas a subrutinas mediante la instrucción "Call" son desviaciones del flujo de control del programa originadas por instrucciones, por lo que se consideran sincronas. Se producen cada vez que se ejecuta dicha instrucción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las interrupciones son desviaciones del flujo de control del programa originadas asincrónicamente por diversos sucesos que no se hallan bajo supervisión de las instrucciones. Dichos sucesos pueden ser externos al sistema, como la generación de un flanco o nivel activo en una terminal del microcontrolador, o bien internos, como el desbordamiento de un contador o temporizador.

El comportamiento del microcontrolador ante la interrupción es similar a la de la instrucción "Call" de llamada a subrutina. En ambos casos se detiene la ejecución del programa en curso, se guarda la dirección actual del Contador del Programa (PC) en la Pila y se carga el PC con una dirección, que en el caso de "Call" viene acompañando a la propia instrucción, y en el caso de una interrupción es una dirección **reservada** de la memoria de programa EEPROM, llamada **vector de interrupción**.

En los PIC16X8X el Vector de interrupción se encuentra situado en la dirección 04H, en donde comienza la Rutina de Servicio de Interrupción (RSI). En general, en dicho vector se suele colocar una instrucción de salto incondicional (GOTO), que traslada el flujo de control a la zona de la memoria de programa EEPROM destinada a contener la rutina de atención a la interrupción.

La RSI suele comenzar guardando en la memoria de datos algunos registros específicos del procesador. Concretamente aquellos que la RSI va a emplear y a alterar su contenido. Antes del retorno al programa principal se recuperan los valores guardados y se restaura completamente el estado del procesador. Algunos procesadores guardan estos registros en la Pila, pero los PIC no disponen de instrucciones para meter (*push*) y sacar (*pop*) información de la Pila, utilizando para este fin Registros de Propósito General de la memoria de datos.

Los PIC16X8X pueden ser interrumpidos por cuatro causas diferentes, pero todas ellas desvían el flujo de control al dirección 04H, por lo que otra de las operaciones iniciales de la RSI es averiguar cuál de las posibles causas ha sido responsable de la interrupción en curso. Para ello se exploran los señalizadores de las fuentes de interrupción.

Otro detalle importante en la RSI de los PIC16X8X es que éstos poseen un bit GIE (Global Interrupt Enable-Habilitador Global de Interrupción) que ocupa la posición 7 del registro INTCON, cuando dicho bit vale 0 prohíbe todas las interrupciones y al comenzar la RSI se pone automáticamente a 0, con objeto de no atender nuevas interrupciones hasta que se termine la que ha comenzado. Es el retorno final de la interrupción que devuelve el valor de GIE nuevamente a 1 para volver a tener en cuenta las interrupciones. Dicho retorno de interrupción se realiza mediante la instrucción *RETFIE*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Antes del retorno conviene borrar el señalizador de la causa de interrupción que se ha atendido, porque si bien los señalizadores se ponen a 1 automáticamente en cuanto se produce la causa que indican, la puesta a cero se por programa.

III.5.4 - Causas de Interrupción.

Los PIC116X8X tienen cuatro causas o fuentes posibles de interrupción:

Activación de la terminal RB0 / INT.
Desbordamiento del temporizador TMR0.
Cambio de estado de una de las terminales <RB7:RB4> del PUERTO B.
Finalización de la escritura en la EEPROM de datos.

Cuando ocurre cualquiera de los cuatro sucesos indicados se origina una petición de interrupción, que si se acepta y se atiende, comienza depositando el valor del PC actual en al Pila poniendo el bit GIE = 0 y cargando en el PC el valor 04H, que es el Vector de interrupción desde donde se desvía el flujo de control.

Cuando GIE = 0 no se acepta ninguna de las interrupciones. Si GIE = 1 solo se aceptan aquellas fuentes de interrupción cuyo bit de permiso también se lo consienta, es decir, cada fuente de interrupción tiene otro bit de permiso, que según su valor permite o prohíbe la realización de dicha interrupción, además cada fuente de interrupción dispone de un señalizador.

Para conocer que causa ha provocado la interrupción se exploran los señalizadores, tres de los cuales se ubican en el registro INTCON y el cuarto (EEIF) se halla en el bit 4 del registro EECON1.

Los señalizadores deben ponerse a 0 por programa antes del retorno de la interrupción y son operativos aunque la interrupción este prohibida con su bit de permiso correspondiente. En la figura III.18 se muestra el esquema de la lógica del control que origina la interrupción.

ESTE CON
FALLA DE ORIGEN

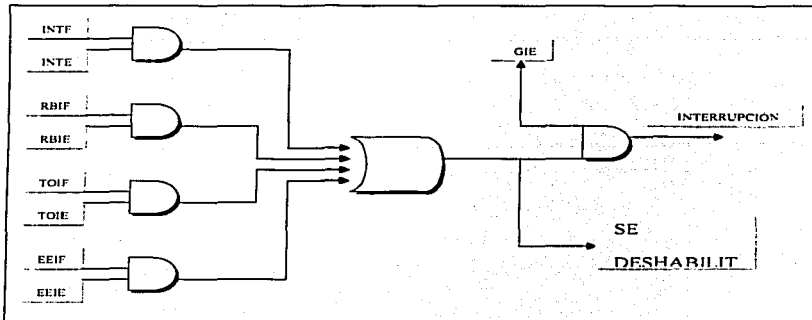


Figura III.18.- Lógica de Control para la Generación de una Interrupción en los PIC16X8X.

III.5.5.- Interrupción Externa INT.

Esta fuente de interrupción es sumamente importante para atender acontecimientos externos en tiempo real. Cuando ocurre uno de ellos activa la terminal RB0 / INT y se hace una petición de interrupción. Entonces, de forma automática, el bit INTF = 1 y si el bit de permiso INTE = 1, se autoriza el desarrollo de la interrupción.

Mediante el bit 6, llamado INTEDG, del registro OPCIÓN se puede seleccionar cuál será el flanco activo en RB0 / INT. Si se desea el ascendente se escribe un 1 en dicho bit, y si se desea el descendente se escribe un 0.

El procesador explora el señalizador INTF al final del primer ciclo del reloj de cada ciclo de instrucción.

Si INTE = 1 y se aplica un flanco activo en RB0 / INT, el señalizador INTF se pone a 1 automáticamente y se solicita una interrupción, que es aceptada cuando GIE = 1. Antes de regresar al programa principal hay que borrar INTF, puesto que en caso contrario al ejecutar la instrucción de retorno RETFIE se volvería a desarrollar al mismo proceso de interrupción.

TIENE CON
FALLA DE ORIGEN

III.5.6.- Interrupción por el desbordamiento del TMR0.

Cuando el TMR0 se desborda y pasa el valor FFH al 00H, el señalizador TOIF se pone automáticamente a 1. Si además, el bit de permiso de la interrupción del TMR0 TOIF = 1 y el bit GIE = 1, se produce la interrupción.

Si no se recarga el TMR0 cuando se desborda, sigue contando desde 00H a FFH. En cualquier momento se puede leer y escribir este registro, pero cada vez que se escribe se pierden dos ciclos de reloj para la sincronización.

Cuando se carga inicialmente TMR0 con el valor N10, cuenta 256-N impulsos, siendo el tiempo que tarda en hacerlo el que expresa la siguiente fórmula:

$$\text{Temporización} = 4 * \text{Tosc} * (256 - N10) * \text{Rango del Divisor de Frecuencia.}$$

III.5.7.- Interrupción por Cambio de Estado de una de las Terminales <RB7:RB4> del PUERTO "B".

Esta interrupción está diseñada específicamente para detectar la pulsación de una tecla correspondiente a un teclado matricial que se explora con cuatro líneas de I / O. Para ésta función se destinan las líneas <RB7:RB4> del PUERTO B, que cada vez que cambia el estado lógico de una de ellas fuerza al señalizador RBIF a ponerse a 1, y si los bits de permiso RBIE = 1 y GIE = 1 se autoriza la interrupción.

III.5.8.- Interrupción por Finalización de la Escritura en la EEPROM de Datos.

El tiempo típico que tarda en desarrollarse una operación de escritura en la EEPROM de datos de los PIC16X8X es de 10ms, que es considerable comparado con la velocidad a la que el procesador ejecuta instrucciones. Para asegurarse que se ha completado la escritura y puede continuarse con el flujo de control del programa es aconsejable manejar la interrupción que se origina al finalizar la escritura, que pone automáticamente el señalizador EEIF a 1, y se autoriza siempre que los bits de permiso EEIE = 1 y GIE = 1.

Cuando se describió el proceso de escritura de la EEPROM de datos se indicó que se usaba un registro *no real* para asegurar la misma. Se trataba del registro EECON2, en el que se grababan dos valores, el 55H y el AAH. Durante la escritura de este registro debe prohibirse la aceptación de interrupciones a fin de salvaguardar la operación de escritura, por eso en ese módulo se pone GIE = 0.

TRABAJA CON
FALLA DE ORIGEN

En los PIC16C84 y PIC16F8X se puede leer y escribir la EEPROM de datos aunque se haya protegido el código. En los PIC16CR8X, que disponen de memoria ROM para el código existen dos bits para el código de protección: uno dedicado a la ROM de código y el otro para la EEPROM de datos.

III.5.9.- Causas de Reinicialización o "Reset".

Los PIC16X8X tienen cinco causas que provocan la reinicialización del sistema, que consiste en cargar al PC con el valor 00H (Vector RESET) y poner el estado de los bits de los Registros Específicos con un valor predeterminado.

Conexión de la alimentación (POR-Power On Reset).
Activación de la terminal MCLR# (Master Clear Reset) en operación normal.
Activación de la terminal MCLR# en el modo SLEEP.
Desbordamiento del WDT en operación normal.
Desbordamiento del WDT en el modo SLEEP.

III.6.- Temporizador.

El temporizador PWRT# ("Power up Timer" o Temporizador de Arranque) activa una salida al cabo de un cierto tiempo tras la conexión de la alimentación, que se aplica a la entrada de la AND4, encargado de controlar el reset del Flip-Flop que controla la generación interna del RESET del sistema.

Sólo es válida la salida de PWRT si el bit de permiso de éste, está activo de nivel bajo (PWRT # = 0), dado que también se aplica a la OR7 de la figura III.19. El bit PWRT # reside en la Palabra de Configuración: en la posición 3, y como ya se mencionó unas de las pocas diferencias que tiene el PIC16C84 con el PIC16F84 es el que primero tiene como nivel activo el bit PWRT # en 1, mientras que este último lo tiene en "0".

EL RESET del Flip-Flop final se produce cuando la AND 4 produce un nivel lógico alto, lo que requiere sus tres entradas tengan este mismo nivel lógico, lo que supone:

- Que no haya peticiones de RESET y la compuerta OR 2 tenga su salida en un nivel lógico bajo.
- Que si está activo PWRT, finalice su retardo de 72ms.
- Que también finalice la temporización del oscilador OST, que retarda la señalización, tras completarse el retardo del PWRT.

TEST CON
FALLA DE ORIGEN

El temporizador PWRT # proporciona un retardo fijo de 72 ms y sus impulsos de reloj los genera un oscilador RC propio. Este tiempo garantiza la estabilización del voltaje de alimentación $V_{D,D}$.

El temporizador OST ("Oscilador Start-up" o Temporizador Inicio de Oscilador) proporciona un retardo para que se ejecute el periodo de los impulsos aplicados a la terminal OSC1/CKLIN. Sirve para asegurar que el cristal de cuarzo o resonador cerámico empleado en los osciladores tipo Xt, LP o HS esté estabilizado y en marcha. OST comienza a funcionar cuando termina el retardo del PWRT # debido a la conexión de la salida OR7 con la AND de la figura III.19.

La activación de la entrada SET del Flip-Flop se considera cuando se activa la terminal MCLR #, cuando se desborda el WDT o cuando se detecta un flanco ascendente en la terminal $V_{D,D}$ (POR- Power On Reset).

En la figura III.19 se muestra un cronograma de las principales señales que participan en la generación del RESET y en el que se aprecia la secuencia de los retardos T_{PWRT} y T_{OST} .

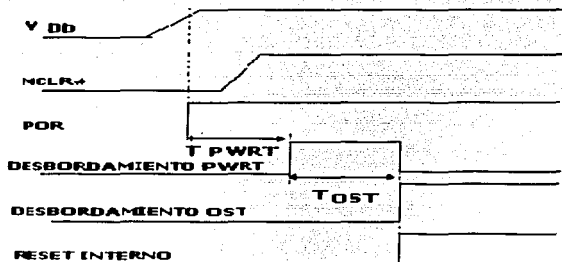


Figura 2.24 Cronograma de las principales señales que intervienen en el RESET para uno de los posibles casos en el que MCLR# se cambia de estado VDD.

Figura III.19 - Cronograma de las Principales Señales que Intervienen en el Reset para uno de los Posibles casos en que MCLR# no cambia de Estado V

D-D

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el registro ESTADO hay dos bits que indican las condiciones en las que se ha originado el RESET. Se trata de TO# (Timer Out) Y PD# (Power Down) y se explicará posteriormente.

Se produce un fallo en la alimentación cuando VD-D decide por debajo del valor mínimo, si llegara a cero luego se recupera, a este fallo se le conoce como BROWN-OUT (Apagón). En esta situación es preciso provocar un RESET. Para generar un RESET en un PIC16X8X cuando hay un fallo de alimentación hay que colocar un circuito externo de protección, como los que se muestran en la figura III.20.

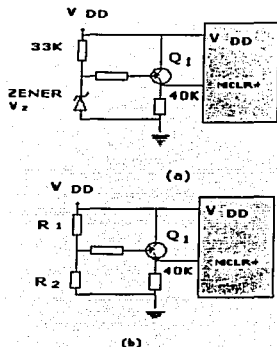


Figura 2.25 Circuito externo de protección.

Figura III.20.- Circuito Externo de Protección.

TEMA CON
FALLA DE ORIGEN

Este modo de funcionamiento de los PIC está caracterizado por el reducido consumo de energía que requiere, y está recomendado para aquellas aplicaciones en las que hay largos periodos de espera hasta que se produzca algún suceso asíncrono, como la pulsación de una tecla. En dicho período el procesador está inactivo.

El consumo típico es de 2 mA, aproximadamente, reduciendo a menos de 10 mA en el modo "SLEEP", lo que permite alimentarle con una pequeña pila durante casi todos los años.

Para entrar en el modo "SLEEP" hay que ejecutar las instrucciones "SLEEP". En el modo "SLEEP" la terminal TOCK1 se conecta a V_{DD} o a V_{SS} , para eliminar la entrada de impulsos externos al TMR0. Por otra parte, como se detiene el oscilador principal que genera los impulsos TOSC, también se determina el TMR0. Las terminales de E/S mantienen el estado anterior al modo "SLEEP" y lo que no se hayan conectados a periféricos y actúan como entrada de alta impedancia se aconseja conectar V_{DD} o a V_{SS} para evitar posibles fugas de corriente. La terminal de ejecución introducciones hasta que se reactive y salga del modo "SLEEP".

Si el WDT contiene activo el modo "SLEEP", al entrar en este modo se borra, pero sigue funcionando. Los bits del Registro ESTADO PD# y TO# toman los valores "0" y "1", respectivamente. Para salir del modo "SLEEP" existe tres alternativas:

- 1ª Activación eterna de MCLR# para provocar un RESET;
- 2ª Desbordamiento del WDT si quedo operativo en el modo "SLEEP".
- 3ª Generación de una interrupción. En este caso el TMR0 está detenido solo puede producirse los otros tres tipos de interruptores.

Cuando se reactiva el PIC se desarrolla la secuencia del oscilador OST, que retarda 1,024 TOSC para estabilizar las frecuencias de trabajo y luego pase a ejecutar las siguientes instrucciones a SLEEP (PC+ 1).

Los bits TO# Y PD# se emplean para conocer las causas del RESET que reactiva al sistema. PD# =0 cuando se ejecuta la instrucción SLEEP. TO# =0 cuando se desborda el WDT.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.7.- Repertorio de Instrucciones.

Descripción detallada en orden alfabético.

A continuación se presentan las instrucciones de los PIC de la gama media en forma tabular y en orden alfabético. Esta descripción puede ser de utilidad cuando se está haciendo un programa para encontrar alguna propiedad de interés.

ADDLW	ADD Literal to W
Sintaxis	ADDLW k
Codificación	11 11x kkkk kkkk
Palabras, ciclo	1,1
Operación	W+k→W
Ebits de estado	C, DC, Z
Descripción	Añade el contenido de W al literal k, y almacena el resultado en W
Atención	Esta introducción no existe en los PIC16CSX

ADDLW	ADD W to F
Sintaxis	ADDLW F, d
Codificación	0001 11d1 ffff 00 0111 dfff ffff
Palabras, ciclo	1,1
Operación	W+d → f si d=1; o W+f → W si d=0.
Ebits de estado	C, DC, Z
Descripción	Añade el contenido de W al contenido de f, y almacena el resultado en W si d=0, y en f si d=1

ERROR CON
FALLA DE ORIGEN

ADDLW	ADD Literal and W
Sintaxis	ADDLW K
Codificación	1110 kkkk kkkk 11 1001 kkkk kkkk
Palabras ciclo	1,1
Operación	W AND K → W
Bits de estado	Z
Descripción	Efectúa un AND lógico entre el contenido de W y el literal K y almacena el resultado en W

ADDLWF	ADD W with F
Sintaxis	ADDLWF F, F, d
Codificación	0001 11d1 ffff 00 0101 dfff ffff
Palabras ciclo	1,1
Operación	W AND f → si d=1 o W AND f → W si d=0
Bits de estado	Z
Descripción	Efectúa un AND lógico entre el contenido de W y el contenido de f y coloca el resultado en W si d=0, y en f si d=1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BSF	Bit Set F
Sintaxis	BSF f,b
Codificación	0101 bbbf ffff 01 01bb bfff ffff
Palabras, ciclo	1,1
Operación	1 → b (f)
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Pone a uno el bit número b de f.

BTFSC	Bit Test, Skip if Clear
Sintaxis	BTFSC f,b
Codificación	0110 bbbf ffff 01 10bb bfff ffff
Palabras, ciclo	1,1 o2
Operación	Salto si b (f) = 0
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Si el bit número b de f es nulo, la instrucción que sigue a ésta se ignora y se trata como un NOP. En este caso, y sólo en este caso, la instrucción BTFSC precisa dos ciclos para ejecutar.

RETLW	Return Literal to W
Sintaxis	RETLW k
Codificación	1000 kkkk kkkk 11 01w kkkk kkkk
Palabras, ciclo	1,2
Operación	RETLW, PUSHW
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Carga W con el literal k, y después carga el PC con el valor que se encuentra en la pila superior de la pila de direcciones en un tiempo de ejecución.
ALABIDA	Para instrucciones de dos ciclos.

**¡¡¡¡¡ CON
FALLA DE ORIGEN**

RRF Rotate Right F Trough Carry

Sintaxis: `RRF`

Codificación: `0011 0011 ffff`
`0011 0011 0011 ffff`

Palabras ciclo: 1

Operación: Ver descripción

Bits de estado: C

Descripción: Rotación de un bit a la derecha del contenido de F, pasando por el bit de acarreo C. Si el resultado se almacena en F, el bit de acarreo se almacena en WDT.

SLEEP Sleep

Sintaxis: `SLEEP`

Codificación: `0000 0000 0001 0000`
`0011 0000 0110 0111`

Palabras ciclo: 1

Operación: `0*PD, 1=10:00=WDT=0` - Operador del WDT

Bits de estado: TO, PD

Descripción: Pone el circuito en modo sleep (del oscilador).

Atención: Consulte los capítulos a cada tipo de circuitos para ver las posibilidades exactas y las consecuencias de la entrada del circuito en modo sleep.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SUBLW	Subtract W from Literal
Sintaxis	SUBLW k
Codificación	11 110X kkkk kkkk
Palabras, ciclo	1,1
Operación	k - W → W
Bits de estado	C, DC, Z
Descripción	Resta el contenido de W del literal k y almacena el resultado en w. La sustracción se realiza en complemento a dos.
Atención	Esta instrucción no existe en los PIC 16C5X.

SWAPF	Swap F
Sintaxis	SWAPF f,d
Codificación	0000 10df ffff 00 0010 dfff ffff
Palabras, ciclo	1,1
Operación	f(0-3) → f(4-7) y f(4-7) → f(0-3) resultado → dependiente de d
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Intercambia los cuatro bits de mayor peso con los cuatro bits de menor peso de f, y almacena el resultado en f si d=1, o en w si d=0.

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

RETURN		Return from Subroutine	
Sintaxis	RETURN		
Codificación	00 0000 0000 000		
Palabras, ciclo	1,2		
Operación	pila → PC		
Bits de estado	Ninguno		
Descripción	Carga el PC con el valor que se encuentra en la parte superior de la pila, efectuando así una vuelta de subrutina. Se trata de una instrucción RETLW simplificada.		
Atención	Esta instrucción dura dos ciclos. Esta instrucción no existe en los PIC 16C5X.		

Load TRIS Register	
Sintaxis	TRIS f
Codificación	0000 0000 Offf
Palabras, ciclo	00 0000 0110 Offf
Operación	W registro TRIS del puerto f
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Carga el contenido de W en el registro TRIS del puerto f.
Atención	Esta instrucción no debe utilizarse en otros circuitos que no sean 16C5X.

**TRIS CON
FALLA DE ORIGEN**

SUBWF		Subtract w from F
Sintaxis	SUBWF f,d	
Codificación	0000 10df ffff 00 0010 dfff ffff	
Palabras, ciclo	1,1	
Operación	f-W → f si d=1 o f-W → W si d=0	
Bits de estado	C, DC, Z	
Descripción	Sustrae el contenido de w del contenido de F, y almacena el contenido en W se d=0 y en f si d=1. la sustracción se realiza en complemento a dos	

INCF		Increment F
Sintaxis	INCF f,d	
Codificación	001 10df ffff 00 1010 dfff ffff	
Palabras, ciclo	1,1	
Operación	f+1 → f si d=1 o f+1 → W si d=0	
Bits de estado	Z	
Descripción	Incrementa el contenido de f en una unidad. El resultado se almacena de nuevo en F si d=1, Y en W si d=0 (en este caso, f no vale)	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

INCFSZ	Incremento F, Skip, if Zero
Sintaxis	INCF <i>kd</i>
Codificación	001 <i>kkkk</i> 00 <i>ffff</i> 00 <i>kkkk</i> 00 <i>ffff</i>
Palabras, ciclo	1.1
Operación	$f+1 \rightarrow f$ si $d=1$ o $f-1 \rightarrow W$ si $d=0$ y, salto si $f=1=0$
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Incrementa el contenido de <i>f</i> en una unidad. El resultado se almacena de nuevo en <i>f</i> si $d=1$, y en <i>W</i> si $d=0$ (en este caso, <i>f</i> no vale). Si el resultado es nulo, se ignora la siguiente instrucción y, en ese caso, esta instrucción dura.

IORLW	OR Literal with W
Sintaxis	IORLW <i>k</i>
Codificación	1101 <i>kkkk</i> <i>kkkk</i> 11 <i>1000</i> <i>kkkk</i> <i>kkkk</i>
Palabras, ciclo	1.1
Operación	$WOR \leftarrow kW$
Bits de estado	Z
Descripción	Efectúa un OR lógico inclusivo entre el contenido de <i>W</i> y el literal <i>K</i> , y almacena el resultado en <i>W</i> .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IORWF	Inclusive OR W with F
Sintaxis	<code>IORWF f,d</code>
Codificación	<code>0001 00df ffff</code> <code>11 0100 dfff ffffk</code>
Palabras, ciclo	1,1
Operación	<code>W ← f</code> si <code>d=1</code> , o <code>W ← W</code> si <code>d=0</code> .
Bits de estado	Z
Descripción	Ejecuta un OR lógico inclusivo entre el contenido de <i>f</i> , y almacena el resultado en <i>f</i> si <i>d</i> =1, y en <i>W</i> si <i>d</i> =0.

MOVf	Move F
Sintaxis	<code>MOVf f,d</code>
Codificación	<code>0010 00df ffff</code> <code>00 1000 dfff ffff</code>
Palabras, ciclo	1,1
Operación	<code>f ← f</code> si <code>d=1</code> , o <code>f ← W</code> si <code>d=0</code> .
Bits de estado	Z
Descripción	Desplaza el contenido de <i>f</i> si <i>d</i> =1 ó a <i>W</i> si <i>d</i> =0.
Antecedentes	El desplazamiento de <i>f</i> , que a priori parece inútil, permite comprobar el contenido de <i>f</i> con respecto a cero, ya que esta instrucción actúa sobre el bit Z.

MOVLW	Move Literal to W
Sintaxis	<code>MOVLW k</code>
Codificación	<code>1100 kkkk kkkk</code> <code>11 0000 kkkk kkkk</code>
Palabras, ciclo	1,1
Operación	<code>W ← k</code>
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Carga <i>W</i> con el literal <i>k</i> .

TESTS CON
FALLA DE ORIGEN

MOVIF	Move W to F
Sintaxis	MOVIF f
Codificación	0000 001f ffff 00 0000 dfff ffff
Palabras, ciclo	1, 1
Operación	W → f
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Carga f con el contenido de W

NOP	No Operation
Sintaxis	NOP
Codificación	0000 0000 0000 0000 0x00 0000
Palabras, ciclo	1, 1
Operación	Ninguno
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Solo consume tiempo de máquina, (en este caso un ciclo) como cualquier otro.

OPTION	Load Option Register
Sintaxis	OPTION
Codificación	0000 0000 0010 00 0000 0110 0010
Palabras, ciclo	1, 1
Operación	W → OPTION
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Carga el registro OPTION con el contenido de W
Atención	Esta instrucción no debe utilizarse en otros circuitos que no sean los PIC 16C5X. No obstante, es correctamente interpretado por los circuitos 16C64, 71, 74 y 84, con el fin de asegurar una compatibilidad ascendente.

ENCICLOPEDIA
FALLA DE ORIGEN

RETFIE	Return From Interrupt.
Sintaxis	RETFIE
Codificación	0 0 0000 0000 1001
Palabras, ciclo	1,2
Operación	Pila → PC, 1 → OIE
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Carga el PC con el valor que se encuentra en la parte superior de la pila, asegurando así la vuelta de la interrupción. Pone a 1 bit OIE con el fin de autorizar de nuevo que se tenga en cuenta la interrupción.
Atención	Esta instrucción dura dos ciclos. Esta instrucción no existe en los PCI 16CSX.

RETURN	Return from Subroutine
Sintaxis	RETURN
Codificación	00 0000 0000 000
Palabras, ciclo	1,2
Operación	pila → PC
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Carga el PC con el valor que se encuentra en la parte superior de la pila, efectuando así una vuelta de subrutina. Se trata de una instrucción RETLW simplificada.
Atención	Esta instrucción dura dos ciclos. Esta instrucción no existe en los PCI 16CSX.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BTRSC	Bit Test, Skip If Set
Sintaxis	BTESS <i>r,b</i>
Codificación	0111 <i>bbbl</i> <i>ffff</i> 01 <i>11bb</i> <i>bfff</i> <i>ffff</i>
Palabras, ciclo	1.7 o2
Operación	Salto si <i>b</i> (1) = 1
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Si el bit b de F está a 1, la instrucción que sigue a esta se ignora y se trata como un NOPO. En este caso y solo en este caso, la instrucción BTESS precisa sus ciclos para ejecutarse.

CALL	Subroutine Call
Sintaxis	CALL <i>K</i>
Codificación	1001 <i>kkkk</i> <i>kkkk</i> 10 <i>0kkk</i> <i>kkkk</i> <i>kkkk</i>
Palabras, ciclo	1.2
Operación	En el caso de los 16C5X PC 1 <i>pila</i> , <i>K</i> PC (0-7), 0 PC (8), PA2 a PA0 PC (9-11). En el caso de los 16C64, 71, 74 y 84: PC 1 <i>pila</i> , <i>K</i> PC(0-10), PCLATH(3,4) PC (11,12).
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Salvaguarda la dirección de vuelta en la pila y despues llama a la subrutina situado en la dirección cargada en la PC.
Atención	El modo de calculo de la dirección difiere, segun la familia PIC utilizada. Tambien hay que posicionaer correctamente PA2, PA1 y PA0 (PIC 16C5X) o el registro PCLATH (en los demas PIC) antes de ejecutar la introducción CALL.

TEXIS CON
FALLA DE ORIGEN

CLRf		Crear F
Sintaxis	CLRf f	
Codificación	0000 011f xxx 00 0001 1xxx xxx	
Palabras, ciclo	1,1	
Operación	00 → f	
Bits de estado	Z	
Descripción	Pone el contenido de f a cero y activa el bit de Z del registro de estado.	

CLRWDI		Crear Watchdog Timer
Sintaxis	CLRWDI	
Codificación	0000 0000 0100 00 0000 0110 0100	
Palabras, ciclo	1,1	
Operación	00 → WDT. Y 0 → predictor del temporizador.	
Bits de estado	1 → TO y 1 → PD	
Descripción	Pone a cero el registro contador del temporizador watchdog, así como el predictor.	

CLRw		Crear W register
Sintaxis	CLRw	
Codificación	0000 0100 0000 00 0001 0xxx xxxx	
Palabras, ciclo	1,1	
Operación	00 → w	
Bits de estado	Z	
Descripción	Pone el registro de w a cero y activa el bit Z del registro de estado.	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COMP Complement F	
Sintaxis	COMP f,d
Codificación	0010 01df ffff 00 1100 1d fff ffff
Palabras, ciclo	1,1
Operación	$f \leftarrow \bar{f}$ si $d=1$ o $f \leftarrow W$ si $d=0$
Bits de estado	Z
Descripción	Hace el complemento de f bit a bit. El resultado se almacena de nuevo en f si $d=1$, y en W si $d=0$ (en este caso, f no varía).

DECFSZ Decrement F, Skip if Zero	
Sintaxis	DECFSZ f,d
Codificación	0010 11df ffff 00 1011 d fff ffff
Palabras, ciclo	1,1
Operación	$f \leftarrow f - 1$ si $d=1$ o $f \leftarrow W$ si $d=0$ y salto si $f=0$.
Bits de estado	Ninguno.
Descripción	Decrementa el contenido de f en una unidad. El resultado se almacena de nuevo en f si $d=1$, y en W si $d=0$ (en este caso f no varía). Si el resultado es nulo, se ignora la siguiente instrucción y, en este caso, esta instrucción dura dos ciclos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DECF	Decrement F
Sintaxis	DECF fd
Codificación	0 0 0 0 1 1 d f f f f f 00 0011 d f f f . f f f f
Palabras, ciclo	1, 2
Operación	f ← f - 1; d si d = 1; o - f; i → W si d = 0
Bits de estado	Z
Descripción	Determina el contenido de f en una unidad. El resultado se almacena de nuevo en f si d = 1, y en W si d = 0 (en este caso f no varía)

GOTO	Salto Incondicional
Sintaxis	GOTO k
Codificación	101k kkkkk kkkkk 10 kkkk kkkkk kkkkk
Palabras, ciclo	1, 2
Operación	En el caso de los 16C5X k → PC (0-9), PA2, PA1, PA0 → PC (9-11) En el caso de los 16C64, 71, 74 y 04: k → PC (0-10), PCLATH (3,4) → PC (11,12)
Bits de estado	Ninguno
Descripción	Llama a la subrutina situada en la dirección cargada en PC.
Atención	El modo de cálculo de la dirección difiere según la familia de PIC utilizado. También hay que posicionar correctamente PA, PA1, y PA0 (PIC 16C5X) o el registro PCLATH (si los demás PIC) antes de ejecutar la instrucción GOTO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO IV.

DISEÑO DEL VEHÍCULO.

IV.1. - Introducción.

El empleo de la energía eléctrica como medio de propulsión para los vehículos de transporte data del siglo pasado. En 1834, Thomas Davenport construyó en Estados Unidos de América el primer prototipo. En 1912, en ese mismo país se vendieron 34 000 autos eléctricos de varios tipos y en Alemania se utilizaron mil camiones eléctricos en el servicio postal, de carga, y sistema de transporte colectivo. Más adelante, la Ford Motor Company inundó el mercado con el modelo Ford "T", de sólo 260 dólares. Países como Francia, Italia, Holanda, Inglaterra y Estados Unidos continuaron la fabricación de automóviles eléctricos, pero en menor medida, pues la baja eficiencia de sus baterías provocó desinterés por ellos en el mercado.

En la década de los años setenta en México, varias empresas y particulares iniciaron el desarrollo del vehículo eléctrico mexicano. Uno de los pioneros fue el capitán Guillermo Viniegra quien fabricó pequeños autos destinados al turismo y de competencia, algunos de los cuales llegó a exportar. Así mismo, fábricas Alfa, S.A., compró la planta Sebring Vanguard de Estados Unidos, que vendió en ese tiempo 50 unidades construidas en México, parte de las cuales actualmente circulan con la marca Auto Abed.

En la exposición internacional de Berlín en 1904, el público asistente pudo ver casi todas las producciones alemanas y extranjeras de cerca. Destacaron tres compañías de coches eléctricos: la ABAM de Berlín, la Gottff Hagen de Colonia y Krieger de París. Todos utilizaban el sistema Krieger con sus motores herméticamente cerrados para protegerlos del polvo y la humedad. El ABAM llevaba dos motores con 8 velocidades, cada uno de 4 CV, que resistía doble sobrecarga.

Ya en 1903 aparecieron en las grandes ciudades los coches eléctricos para el servicio público. Tuvieron que enfrentarse con los ya instalados taxis de dos cilindros y motor de explosión, pero, según la prensa de aquel año, *"la fantástica conducción, sin ruido; los eléctricos no consiguen las velocidades de los de petróleo, pero son los preferidos"*. La batería de Gottff Hagen consistía en 40 células y conseguía, según la propaganda, una velocidad de 30 Km/h y un radio de acción de 100 Km. Pesaba un total de 320 Kg.

CON
FALLA DE ORIGEN

La Empresa alemana Siemens, hoy una de las organizaciones líderes en el campo de la electricidad empezó en 1905 la fabricación de vehículos eléctricos con motores eléctricos, muy convencida de sus ventajas. Montaron la batería con sus acumuladores donde normalmente se instalaba su motor de explosión, delante del asiento del conductor, reposando en el bastidor de tal forma que podía cambiarse fácilmente. Combinando con unos servicios eficaces garantizaba una autonomía sin límites. Estos vehículos fueron contruidos con diversas carrocerías no solo de turismo, sino también de autobús, bomberos etcétera; pero pronto se dieron cuenta de que una construcción masiva de sus vehículos no era posible por los límites de las baterías en aquellos tiempos.

Numerosos países de todo el mundo continuaron utilizando los vehículos eléctricos completamente silenciosos pero el desarrollo del vehículo eléctrico estuvo muy atrasado ante el alud de novedades y avances en el sector de los motores de combustión interna, un campo en donde se encontraban continuamente soluciones para mejorar las prestaciones, la mecánica en general y, sobre todo, los gastos del producto. Se invirtió mucho dinero en su prometededor desarrollo, dejando de lado las investigaciones en la propulsión eléctrica; la investigación deseada en el sector de acumuladores mucho más eficaces no se había producido y no se han encontrado todavía los materiales acumulados para garantizar un rendimiento respetable.

Los vehículos con motor convencional, en cambio, se iban desarrollando hacia modelos menos ruidosos, menos peligrosos y más fiables, y además, con un confort cada vez mayor, tanto del interior como de maniobrabilidad. Con el invento en 1911 del arranque eléctrico para los automóviles con motores de explosión y la introducción posterior de la producción masiva en cadena por parte de Henry Ford, el desarrollo del vehículo eléctrico desapareció de los medios informativos.

Los fabricantes de los coches eléctricos comenzaron a adaptar el diseño de sus modelos al vehículo convencional utilizando el largo capó como cubierta para las numerosas baterías. A pesar de que las empresas hablaban con orgullo del idéntico diseño de unos y de otros, hoy solo se deduce de aquella situación que se pretendía esconder la tracción eléctrica para que el cliente no se sintiese propietario de un vehículo con prestaciones inferiores. El factor imagen y clase social comenzaba a mezclarse entre las diferentes propulsiones, realmente lo peor que pudo suceder.

Entre los años 1911 y 1920 los americanos todavía ofrecían grandes y lujosas limusinas con motor eléctrico, como ejemplo el Broc y el Borland. El Borland tenía una carrocería de aluminio y una batería de 40 células que suministraba comente suficiente para lanzar el vehículo a 35 Km/h. Rauch & Lang producía una limusina de 6 plazas, con un departamento de conductor completamente separado del capó, mientras que los pasajeros tomaban asiento en un lujoso salón entre los ejes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A esta oferta se añade la de los pequeños vehículos urbanos de las marcas Detroit Electric, Baker y Fritchle, que vendieron unos miles de unidades entre 1912 y 1920.

En el sector de las furgonetas destaca la empresa suiza Tribelhorn, con vehículos de tres ruedas utilizados para el correo y los hoteles, donde sirvieron incluso de autobús de recogida a los clientes. En Alemania destacaron los triciclos Geha y los furgones Bergmann, que vendieron numerosas unidades. Uno de los principales clientes de los furgones era una distribuidora de leche y derivados de Berlín, con un gran parque de vehículos eléctricos que sobrevivió a la segunda guerra mundial, que demuestra su larga vida. En Alemania se presentó un coche para ciudad, que curiosamente tuvo su mayor éxito en Japón.

Cuando se presentó en 1918 un automóvil eléctrico de la empresa austriaca Lohner, fue el joven Ferdinand Porsche el encargado de vigilar las prestaciones del motor.

Ferdinand Porsche, que había estudiado electrotecnia y entró en régimen de prácticas, observó con interés el desarrollo de los vehículos eléctricos, que prometían ser la propulsión ideal para reemplazar a los caballos: eran limpios, silenciosos y más rápidos que los carruajes. Dibujó un nuevo motor en exclusiva para automóviles eléctricos, de polos interiores y montado directamente sobre el eje o el buje de las ruedas, tanto motrices como directrices.

Lohner se interesó mucho por estos dibujos y, muy entusiasmado, encargó a Porsche llevar estas ideas a la práctica. Así nació el primer Lohner-Porsche eléctrico con un motor de 2.5 CV a 120 rpm en cada una de las ruedas delanteras, y acumuladores convencionales de 60/80 V a 300 A/h. El pequeño biplaza pesaba 980 Kg. De los cuales solo la batería ya suponía la mitad del peso, y cada una de las ruedas motrices pesaba 115 Kg.

Los motores, situados de tal forma que recibían todo el viento para la refrigeración podían ser sobrecargados hasta los 7 CV durante 15 minutos. Gracias al uso de resistencias variables entre batería y motores se podía prescindir totalmente de las entonces complicadas cajas de cambio.

Y otra gran ventaja nació por ella sola: el vehículo tenía frenos en las cuatro ruedas, los convencionales actuaban sobre la rueda posterior, como en la mayoría de los automóviles y sin un cortocircuito en los motores eléctricos se podía frenar inmediatamente las ruedas delanteras.

El primer automóvil de tal configuración se expuso en la exposición internacional de París en 1900 como único representante de Austria. Además, este último desarrollo, con parámetros totalmente válidos hoy en día, y en fase de perfeccionamiento para los automóviles ecológicos del siglo XXI.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A Porsche ya le gustaban mucho las carreras de automóviles, afición que reflejó en sus construcciones eléctricas al instalar dos velocidades: la primera conseguía 16 Km/h y la segunda 35 Km/h. Pero insatisfecho con el resultado, instaló en algunos modelos más cantidad de baterías para aumentar el voltaje, retocó las carrocerías y llegó a los 60 Km/h.

En 1900, Porsche experimentó con un modelo que llevaba tantos motores como ruedas, creando el primer automóvil de tracción total. El funcionamiento de este modelo era bastante satisfactorio; las ruedas pesaban entre 100 y 230 Kg. Un peso que solo podían amortiguar los novedosos neumáticos de aire.

Gracias a todas estas experiencias surgió una idea lógica: porqué incorporar pesadas baterías en un vehículo si un motor convencional de gasolina podía suministrar la energía necesaria para los motores eléctricos. Y este fue el origen de los motores híbridos.

La marca Suiza Tribelhorn comenzó en 1902 con la producción de turismos eléctricos de dos plazas que se caracterizaban por su total silencio. Pronto se amplió la gama con una serie de furgonetas, autobuses y camiones. Entre los clientes destacaron muchos años los hoteles suizos, que buscaban un vehículo digno para recoger a su clientela en las estaciones. ¿Qué mejor que un autobús totalmente silencioso y sin el olor que desprendían los vehículos de motor de explosión? También el correo fue un fiel cliente, utilizando pequeñas camionetas de una sola plaza.

Un turismo de tres plazas presentado en 1907, contó con un radio de acción de entre 100 y 120 Km con una velocidad constante de 25 Km/h y que podía subir pendientes de 15%. Un autobús suministrado a un hotel de lujo consiguió, gracias a sus potentes baterías de 20 KVV, un radio de acción de entre 50 y 80 Km, con un motor de 30 CV, caja de cambios de tres velocidades y una velocidad tope de 18 Km/h.

En 1919 Tribelhorn fue vendida a una empresa en Cerlikon, que durante muchos años continuó con la producción de pequeñas camionetas eléctricas.

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.2 - Componentes del Vehículo Eléctrico.

1.- Controlador.- Es el circuito encargado de controlar la entrada y salida de la energía de las baterías para alimentar al motor de tracción y a los demás dispositivos.

2.- Motor.- Puede ser de corriente directa (C-D) o corriente alterna (C-A). Su potencia puede estar comprendida, normalmente entre 20 y 60 caballos de fuerza dependiendo de las características del vehículo.

3.- Banco de Baterías.- Son el elemento más grande y pesado de un vehículo eléctrico. Su capacidad determina el rango o máxima distancia que el vehículo puede recorrer con una sola carga. El rango puede ser extendido usando baterías más avanzadas tecnológicamente, aunque las más utilizadas son las del tipo plomo-ácido

4.- Sistema de Carga.- Puede estar o no incorporado en el vehículo. Es el dispositivo que convierte la corriente alterna comercial (120/240 V) en corriente directa para recargar las baterías.

5.- Convertidor DC/DC.- Este circuito se encarga de controlar la cantidad de energía que llega al motor, puede utilizarse un tiristor o un GTO ya que su operación es la de un conmutador.

6.- Sistema de 12 Volts.- Esta es una batería que es independiente del sistema que alimenta al motor de tracción. Los 12 volts son necesarios para alimentar a diversos sistemas como son: luces, limpiadores, calefacción, radio etcétera.

7.- Circuito de Desconexión.- Este circuito permite al conductor, en determinadas situaciones, poder desconectar por completo el banco de baterías que alimenta al motor de tracción, inmovilizando el vehículo.

8.- Interruptor de Carga para 12 Volts.- Una vez efectuado el proceso de descarga de la batería de 12 volts es necesario iniciar el ciclo de carga para lo cual se conecta el interruptor de carga, este conecta el sistema de carga principal.

9.- Visualizadores y Controles.- Proporcionan información sobre el consumo de corriente, estado de carga de la batería, velocidad del vehículo, luces etc.

10.- Contactores.- Nos permiten efectuar las diferentes conexiones de los subsistemas, al igual que una caja de distribución.

11.- Transductor.- Este dispositivo responde a la posición del acelerador, correspondiendo esta posición a la corriente demandada por el conductor.

TFEIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3.- Parámetros del Vehículo Eléctrico.

Los vehículos eléctricos resultan muy sencillos en concepto y construcción, pues básicamente constan de un banco de baterías que alimenta a un motor eléctrico a través de un control de estado sólido, en comparación con la gran cantidad de componentes de un vehículo de combustión interna como son los inyectores de combustible, compresores, bombas y válvulas, los cuales crecen además en cantidad y complejidad, al volverse más eficientes y menos contaminantes. En contraste, los vehículos eléctricos presentan tres grandes limitaciones:

- ◆ La autonomía es del orden del 30 al 50 % en comparación con los vehículos de combustión interna.
- ◆ Lleva muchísimo más tiempo la recarga de baterías que el llenado de un tanque de gasolina.
- ◆ Son de dos a tres veces más caros en la inversión inicial.

La diferencia en la autonomía es el resultado de la mayor densidad de energía que poseen los hidrocarburos comparados con las baterías electroquímicas esto es, un kilogramo de gasolina ofrece mayor densidad energética que un kilogramo de cualquier tipo de batería.

Una batería típica de plomo-ácido posee una energía específica de 30 W/h por kilogramo; una batería de la mejor calidad, por ejemplo de sodio-sulfuro posee una energía específica de hasta 85 W/h por kilogramo. En comparación, la gasolina acumula unos 12 mil W/h por kilogramo.

Todas las baterías requieren de un proceso lento de recarga por varias razones: en algunos tipos de baterías, la recarga se lleva a cabo con un desprendimiento de gases, por lo cual se debe proceder muy lentamente para que el gas se recombine tan rápido como se va generando; en otros casos, la recarga genera un calentamiento que debe mantenerse bajo control; por otra parte, para que la carga de una batería de 20 KW/h (un tamaño razonable para un automóvil) pudiera cargarse en cinco minutos de una línea de 220 volts, sería necesario una conexión eléctrica con capacidad de mil amperes, lo cual resultaría impráctico y costoso. Una última limitación importante es el precio de los vehículos eléctricos, que es el resultado de construir un vehículo de alta tecnología y suma eficiencia, de bajo peso y sin reducción en sus características de resistencia y seguro contra impactos y accidentes.

TECIS CON
FALLA DE ORIGEN

Todo esto es costoso y si se agrega el uso de electrónica especializada y bajos niveles de producción iniciales, los vehículos eléctricos indudablemente resultarán más costosos, sobre todo en las primeras etapas de producción comercial.

Así, el panorama de costos se vuelve complejo, dependiendo de cómo se calculen los costos de operación; por ejemplo, un auto mediano de combustión interna de transmisión manual con un rendimiento promedio de 15 Km por litro puede circular aproximadamente 120 Km con 24 pesos de gasolina magna, suponiendo un precio de tres pesos por litro. Un auto eléctrico, como el EV1 de la General Motors, con un rendimiento de 70 Wh/Km requiere del orden de 8 pesos de electricidad a precios diarios de aproximadamente un peso por KW/h para cubrir un recorrido semejante.

De este modo se tiene un costo de combustible de tres a uno, la que a su vez reduce el costo de operación general. Sin embargo, lo que no está considerado en el cálculo anterior, es el costo de las baterías, y si estas se consideran como parte del costo de operación del vehículo eléctrico o parte del costo del capital mismo, la respuesta podría depender del ciclo de vida esperado de las baterías y del interés de las empresas eléctricas suministradoras de energía en ofrecer paquetes de baterías cargadas a cambio como parte de un negocio semejante al suministro de gas embotellado.

IV.3.1.- Eficiencia.

Para que los vehículos eléctricos puedan rivalizar con los de gasolina deberán ofrecer las mismas características de economía, potencia, velocidad, aceleración, tiempo de carga y costos, entre otros, que les permitan ser competitivos

Sin duda, el principal parámetro técnico de los vehículos eléctricos es la eficiencia, y como las mejoras que se advierten en el horizonte previsible en el campo de las baterías son limitadas, los esfuerzos se están encaminando para aumentar la eficiencia hacia otros aspectos de la tecnología de estos vehículos, orientados principalmente hacia los siguientes aspectos:

- ◆ Reducción del peso muerto del vehículo eléctrico.
- ◆ Reducción de la resistencia al aire.
- ◆ Reducción de la resistencia al rodamiento.
- ◆ Introducción del frenado regenerativo.
- ◆ Mejoramiento de la eficiencia del motor eléctrico actual y su control

Destaca la reducción del Coeficiente Aerodinámico (CA) adimensional, que es la fuerza de resistencia al aire y que se incrementa al cuadrado de la velocidad del vehículo. Para reducir este coeficiente, los diseñadores están limitando electrónicamente la velocidad máxima, el área de sección transversal y la optimización del diseño de la forma de la carrocería del vehículo eléctrico.

Los automóviles modernos presentan valores de Coeficiente Aerodinámico (CA) de 0.3 a 0.4, en comparación, los automóviles diseñados para ser vehículos eléctricos alcanzan valores de CA de 0.2 y 0.19

Otro aspecto importante es la resistencia al rodamiento, la cual ejerce una resistencia a la torsión en la rotación de las llantas. La razón de esta fuerza de resistencia al rodamiento con respecto a la carga normal de la llanta se llama Coeficiente de Resistencia al Rodamiento (CRR). La reducción de este coeficiente mejora claramente la utilización de la energía disponible en los vehículos eléctricos y se obtiene incrementando la presión de inflado de las llantas.

Los neumáticos de un automóvil convencional presentan un CRR de 0.01 a 0.02; el CRR considerado para los vehículos eléctricos, y que se logra al aumentar al doble la presión de inflado, es del orden de 0.004 a 0.007. Como referencia, para el caso de las ruedas de acero de un ferrocarril el CRR es de alrededor de 0.0005.

Una de las grandes ventajas de los vehículos eléctricos es el uso de motores eléctricos, ya que estos desperdician mucho menos energía que los motores de combustión interna. Los motores eléctricos tienen eficiencias que exceden el 90%, en comparación con los motores de combustión interna que tienen eficiencias máximas del orden de 20%. Además los motores eléctricos presentan una curva de desempeño y eficiencia de gran uniformidad a través de gran parte del intervalo de velocidades de operación, mientras que la eficiencia de los de combustión interna depende en gran medida de la velocidad.

Una técnica de conservación de energía adicional en los vehículos eléctricos es el uso de freno regenerativo, a través del cual, al dejar de alimentar de energía eléctrica al motor, éste se convierte en generador, con lo que el vehículo eléctrico, se frena y al mismo tiempo genera energía para cargar las baterías. Un valor de referencia en cuanto al incremento de autonomía que se puede obtener utilizando un frenado regenerativo ha sido estimado por Chrysler Corporation en 8%. Con una buena práctica operativa, utilizando al máximo el frenado regenerativo, no sólo se recupera el máximo de energía sino que también se alarga la vida del sistema de frenado mecánico.

IV.3.2 - Velocidad de los Vehículos Eléctricos.

Típicamente, un vehículo eléctrico alcanza una velocidad límite de 60-80 mph. Una conversión de un automóvil compacto con un voltaje de 96 volts alcanza una velocidad de 65 mph. A 120 volts una conversión de un auto deportivo (como un Porsche) alcanzó una velocidad de alrededor de 85 mph. La velocidad está relacionada con varias cosas. Obviamente, el peso y lo aerodinámico del vehículo determinan que tan rápido puede ir. El aspecto más importante que determina la velocidad de estos vehículos es el voltaje que pueden entregar las baterías. A un mayor voltaje el motor girará a más revoluciones por minuto, obteniendo así una mayor velocidad. Aun un vehículo ligero alcanzará muy poca velocidad si el voltaje que entregan las baterías es bajo.

En una conversión ordinaria de un auto compacto, el voltaje mínimo que deben entregar las baterías es de 96 volts. Si se desea utilizar un vehículo más pesado como una camioneta todo terreno o un vehículo más veloz es necesario incrementar el voltaje de las baterías.

Los vehículos eléctricos actuales tienen un rango de velocidad que está entre 60 y 100 millas. Estos incluyen las conversiones que se efectúan y los vehículos nuevos que se construyen. Algunos vehículos alcanzan velocidades menores ya que cuentan con baterías más pequeñas, además de contar con aditamentos como aire acondicionado que incrementan el peso, o usan componentes obsoletos.

Últimamente, han aparecido vehículos que cubren un rango de cientos o miles de millas con una sola carga. Pero estas baterías no están disponibles comercialmente. Estos valores son generalmente conseguidos con baterías experimentales. Algunas veces estas baterías sólo pueden recargarse una docena de veces antes de reemplazarse, además de que pueden llegar a costar varios miles de pesos.

La capacidad de las baterías se mide en amperios/hora. A más amperes requeridos el rango que se obtiene es menor. Con un alto voltaje se obtendrá un mejor rango, porque los amperes requeridos disminuyen cuando se incrementa el voltaje. A un mayor voltaje se requieren menos amperes. El rango puede ser mejorado en forma bastante amplia con las siguientes características:

- ◆ Baja resistencia de rodamiento
- ◆ Presión adecuada
- ◆ Buen alineamiento
- ◆ Aerodinámica
- ◆ Y un buen manejo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

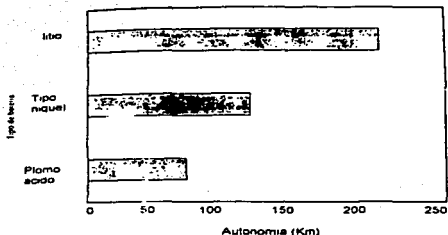
IV.3.3.- Tipos de Baterías.

Los principales parámetros técnicos de las baterías, desde el punto de vista de su aplicación en los vehículos eléctricos son la energía específica, la potencia específica, el ciclo de vida y por supuesto el costo.

La energía específica es la cantidad de watts-hora de electricidad que la batería puede almacenar por kg de masa para un índice específico de descarga.

El cálculo práctico del valor de energía específica se ve afectado por varios factores que disminuyen grandemente los valores teóricos. La construcción de la batería requiere de materiales como son soportes, colectores, recipientes y el mismo cuerpo de la batería, que incrementan el peso, pero que no participan en la reacción de producción de la electricidad. Estos factores limitan el valor de la energía específica de una batería de plomo-ácido a aproximadamente 35 Wh-Kg cuando el valor teórico máximo es de 170 WhKg.

De las baterías dependen algunas de las características más críticas de los autos eléctricos, como su autonomía, potencia y velocidad. Actualmente las grandes empresas de todo el mundo desarrollan nuevas tecnologías con objeto de mejorar el rendimiento de las baterías (Grafica IV.1).



Grafica IV.1.- Autonomía de los Vehículos Eléctricos según el Tipo de Batería

Otra realidad en el desarrollo de las baterías es el hecho de que la energía específica tiende a seguir una relación inversa a la potencia específica; esta última es la cantidad de watts por kilogramo que la batería puede entregar a un estado de carga definido, generalmente de 80 %.

El ciclo de vida, esto es, el número de veces que la batería puede ser recargada, resulta de vital importancia. Idealmente, las baterías deberían durar tanto como el propio vehículo, lo cual es particularmente difícil dado lo extenso de la vida útil estimada para estos vehículos. Se considera que por la tecnología empleada, la sencillez de operación y los materiales avanzados, un vehículo eléctrico puede durar aproximadamente 250 mil Km ó unos 12 años. Si suponemos que un vehículo eléctrico, circula 20 mil Km al año y que los ciclos de carga-descarga se dan entre 50 y 80% de descarga, la vida de las baterías previstas deberá ser de al menos mil ciclos, ver Tabla IV.1.

Especificaciones	A medio plazo	A largo plazo
Energía específica (Wh/kg)	80	200
Potencia específica (W/Kg)	150	400
Años de vida	5	10
Ciclos de vida	600	1000
Tiempo de recarga	Por encima de 6 h	Entre 3 y 6 h

Tabla IV.1.- Vida de las Baterías.

Además de las baterías tipo níquel y las de litio-ión, existen las baterías de tipo de celda combustible de que han sido desarrolladas desde principios de siglo y que actualmente se encuentran en etapa de aplicación experimental (algunos tipos) para evaluar su desempeño. Estas celdas de combustible producen energía eléctrica a partir de una reacción de oxidación; dentro de la celda, el hidrógeno y el oxígeno no se mezclan inmediatamente porque están separados por un electrolito.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Primero los electrones se separan de la molécula de hidrógeno por un catalizador creando un ión de hidrógeno, entonces el ión tiende a pasar a través del electrolito al oxígeno; como los electrones no pueden pasar a través del electrolito son forzados a seguir un circuito externo del ánodo al cátodo; a continuación, el hidrógeno y el oxígeno se combinan para formar agua.

Otra tecnología en desarrollo es la que se refiere a los capacitores electroquímicos, que en sus versiones de celdas individuales o dispositivos bipolares permiten obtener densidades de energía de hasta 2 Wh/Kg para el primer tipo y hasta 7 Wh/kg para el segundo.

Otro tipo de baterías totalmente diferente es la de tipo volante de inercia, la cual consiste en un pequeño rotor de acero de alta resistencia que gira a velocidades del orden de 10 mil radianes por segundo en un ambiente al vacío y apoyado sobre chumaceras magnéticas. Un vehículo eléctrico podría estar dotado de 20 ó 30 de estas unidades, cada una con capacidad del orden de 1 kW/h.

La compañía Nissan, en colaboración con Sony, han desarrollado un automóvil eléctrico cuya comercialización esta prevista para este año.

La gran novedad en una nueva batería surgida de la colaboración de ambas Compañías. Es de iones de litio y, además de ser de un tamaño reducido, es sensiblemente menos pesada que las normales de plomo. Su capacidad de almacenamiento de energía es el triple que la de una de plomo y una vez y media más que la de las más avanzadas de hidruro níquel. El Altra EV, que así se denomina el modelo, necesita 12 módulos de ocho de estas pilas. El conjunto pesa 363 kilos, que es una cifra considerablemente menor que la que alcanzan los conjuntos de baterías de otros vehículos eléctricos.

El precio de las baterías es uno de los aspectos más sensibles para los vehículos eléctricos y se vuelve aún más crítico en virtud de la expectativa de tener que cambiarlas una o más veces durante la vida útil del vehículo eléctrico. Las baterías construidas con materiales caros, a base de plata o mercurio generalmente no se discuten en la aplicación a vehículos eléctricos; sin embargo, en los actuales desarrollos se utilizan materiales de gran diferencia en costo como el níquel y el azufre.

En el corto plazo, las baterías de plomo-ácido serán las más accesibles; para el mediano plazo se están desarrollando tecnologías de baterías de níquel-cadmio, sodio-sulfuro, níquel-hidruros metálicos y litio-ión, entre otras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3.4 - Reciclaje de Baterías.

Uno de los puntos críticos de la infraestructura de los vehículos eléctricos es asegurarse de que las baterías sean respetuosas con el medio ambiente. El reciclaje de baterías de plomo-ácido se está haciendo actualmente, y existe suficiente capacidad de reciclaje para dar soporte al incremento a corto plazo de uso de baterías resultado de la comercialización de vehículos eléctricos.

La unidad básica de la batería es la celda. Una batería consiste generalmente, de un grupo de celdas separadas, conectadas en serie. El número de celdas que se utilice dependerá del voltaje requerido.

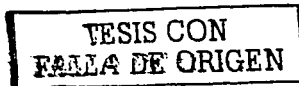
Las celdas primarias y secundarias son de dos tipos ampliamente utilizadas en el campo de la electricidad. A las celdas primarias se les llama generalmente, pilas secas. Este tipo de pilas puede usarse solamente una vez. Cuando se descargan, se desechan. La secundaria o celda de tipo acumulador, cuando se descarga, puede volverse a cargar pasándole corriente directa a través de la misma en la dirección adecuada.

Las celdas de acumulador se fabrican en dos tipos comunes: las alcalinas y las de plomo-ácido.

Las características internas de ácido plomo consisten en dos grupos de placas con cubierta de plomo que se conocen como electrodos, son sumergidas en una solución diluida de ácido sulfúrico conocida como electrolito. Un grupo de placas forma el electrodo positivo y el otro grupo forma el electrodo negativo. Se utilizan separadores de madera, de vidrio o de goma, para evitar que estos electrodos hagan contacto entre sí. Cada recipiente de celda está provisto de un respiradero y una tapa para el mismo, que permite que los gases salgan de la celda mientras se cargan y, así mismo, permite que se agregue agua destilada, que se ha perdido por la evaporación y la carga.

IV.3.5 - Clasificación de Baterías.

Los acumuladores están clasificados por voltaje y capacidad ampere-hora. Cada celda de un acumulador de plomo está marcada en 2.0 volts. Un acumulador de plomo con tres celdas está marcado en seis volts. Las baterías de voltajes más altos contienen mayor cantidad de celdas. La corriente suministrada por un acumulador depende de su estado, de voltaje y de la resistencia del circuito de carga.



El rendimiento máximo de corriente está limitado por la resistencia interna de la celda. Esta, a su vez, está determinada por la condición del electrolito, el tamaño de las placas y el número o cantidad de las mismas. Generalmente, una celda más grande es capaz de un rendimiento de corriente mayor que una celda más pequeña. El voltaje de una celda, sin embargo, no depende del tamaño o número de placas.

IV.3.6 - Capacidad Nominal en Amperes-Hora.

El tiempo requerido para descargar un acumulador a una corriente de carga determinada depende de su capacidad en amperes-hora. Esta capacidad nominal es una medida de la energía eléctrica total que la batería proporcione. La capacidad nominal en amperes-hora es una función del tamaño y número de placas en una batería. Generalmente, una batería grande tiene una capacidad nominal en amperes-hora alta.

Una batería con capacidad nominal de 100 amperes-hora descargará a razón de un amperé por cada 100 horas, o dos amperes por cada 50 horas. El número de horas de duración de una batería, a una determinada corriente de carga, puede calcularse por medio de la siguiente fórmula para la capacidad de amperé-hora:

$$\text{Amperes-horas} = \text{amperes} \times \text{horas}$$

IV.3.7.- Condición de Carga.

No es conveniente descargar por completo una batería antes de ponerla a cargar. Una batería debe ser cargada después de que se haya descargado normalmente. La condición de una batería, a la cual se llama su estado de carga, se mide tomando la lectura de su gravedad específica con un hidrómetro de baterías.

IV.3.8 - Gravedad Específica.

Una pinta (0.4732 lt.) de agua pesa aproximadamente una libra (454 gramos). Una pinta de ácido sulfúrico pesa aproximadamente 1.8 libras (817 gramos) debido a su mayor densidad. La gravedad específica es la relación del peso de una sustancia con el peso del mismo volumen de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN.

Fórmula:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso de la sustancia}}{\text{Peso de igual volumen de agua}}$$

en este caso particular, la gravedad específica del ácido sería:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{1.8}{1} = 1.8$$

La gravedad específica de una batería se mide con un hidrómetro. La parte esencial de un hidrómetro es el flotador, en cual está marcada una escala de gravedades específicas. El flotador se hunde en un líquido a determinado nivel, dependiendo de la gravedad específica. Mientras más baja sea la gravedad específica más bajo se hunde el flotador.

IV.3.9 - Acción de la Celda de Plomo.

El líquido electrolito en una celda de acumulador, cargada a toda su capacidad, está formado de ácido sulfúrico y agua. Cuando una celda se descarga, el ácido abandona el electrolito y se combina con el plomo sobre las placas. Como resultado, el electrolito se vuelve menos denso y de menor gravedad específica.

La gravedad específica de una celda cargada a toda su capacidad es aproximadamente 1.28.

Una celda descargada normalmente tiene una gravedad específica de 1.100. Estas lecturas generalmente son mencionadas como 1300 y 1100.

IV.3.10 - Carga de la Batería.

Es conveniente cargar una batería una vez por mes o siempre que su gravedad específica baje a 1.100. La lectura de gravedad específica baja es el resultado de la descarga normal o meramente por haber permitido que la batería permanezca inactiva. Las baterías que están totalmente descargadas deben ser cargadas de inmediato. Una reducción permanente de su capacidad ampere-hora, debida al endurecimiento de los productos químicos en ambos electrodos es el resultado de que la batería permanezca descargada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3.11. - Capacidad Normal de Carga.

La capacidad normal de carga es generalmente especificada en la placa correspondiente. Para una carga rápida pueden usarse valores de corriente diez veces más de lo especificado, siempre que la temperatura del electrolito se mantenga bajo 110° F (43° C).

IV.3.12. - Corriente de Carga.

Para cargar baterías puede usarse corriente directa o corriente directa pulsante, en cualquiera de los dos casos, la dirección de la corriente deberá ser opuesta a la corriente durante la descarga. Una corriente de carga se produce conectando la batería a un cargador, (G), con polaridades. La capacidad de carga dependerá de la diferencia de voltaje entre el voltaje de la batería y el voltaje de la fuente de carga. En todos los casos, el voltaje del cargador deberá ser mayor que el voltaje total de la batería. Si el voltaje del cargador fuese más bajo que el de la batería, ésta se descargaría al impulsar electrones a través del cargador.

Las baterías en automóviles y aviones se cargan utilizando un generador de corriente directa accionado por el motor. Cuando se dispone de corriente directa de 110 volts, las baterías pueden cargarse directamente de la fuente por medio del uso de dispositivos limitadores de corriente adecuados. Cuando es necesario utilizar un abastecimiento de corriente alterna, debe rectificarse el voltaje, esto es, cambiarse a corriente directa antes de aplicarse a la batería.

IV.3.13. - Sistemas de Carga.

Los dispositivos para cargar baterías operan bajo el sistema de corriente constante o potencia constante. En el sistema de corriente constante, la capacidad de carga permanece igual sin importar el estado de la batería. El rectificador "Tungar" operando con una fuente de corriente alterna, y un cargador, operando con corriente directa a 110 volts son dos ejemplos de este sistema.

En un sistema de potencial constante, el voltaje del cargador se mantiene constantemente a un valor ligeramente superior al voltaje de la batería. Conforme se carga la batería, su voltaje aumenta muy poco, reduciendo así la diferencia de voltaje entre la batería y el cargador. Esto da como resultado una corriente de carga alta al principio y una corriente de carga baja cerca del final de la carga; en otras palabras, una carga de disminución gradual. Esto es muy recomendable, ya que la corriente de carga depende del estado en que se encuentre la batería.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3.14.- Pérdida de Densidad por Autodescarga.

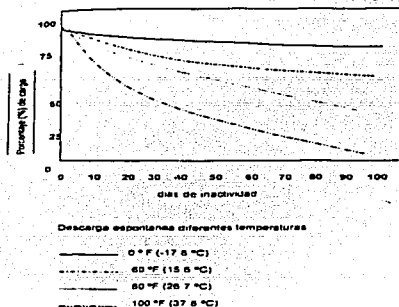
En una batería siempre hay una cierta actividad química, incluso cuando aquella se haya fuera de servicio. A esta actividad química, que no produce corriente, se le denomina autodescarga o descarga espontánea, variando ésta con la temperatura y la densidad del electrolito. Cuanto más elevada sea la temperatura, más rápida será la autodescarga, toda vez que las actividades químicas resultan estimuladas por las temperaturas más altas. En este gráfico podrá observarse que una batería mantenida a 37.8° C pierde la mitad de su carga en 30 días.

Mientras que la misma batería mantenida a -17.8° C casi no sufre pérdida de carga. Un electrolito concentrado, con alto porcentaje de ácido sulfúrico, también es causa de una más rápida descarga espontánea. Esto se pone de manifiesto en una caída más rápida de las curvas durante los primeros días de ensayo en que el electrolito estaba más concentrado.

El sulfato de plomo producido por la descarga espontánea es de una dureza excesiva para ser eliminado durante el proceso de recarga de la batería, si las baterías no se recargan periódicamente para compensar la descarga espontánea, pueden sufrir serios desperfectos o bien inutilizarse definitivamente.

Las baterías viejas, así como las que contienen impurezas (introducidas muchas veces por el agua), tienden a descargarse espontáneamente con mayor rapidez.

Las baterías exentas de mantenimiento poseen unas placas de composición distinta que combaten la autodescarga, por lo cual la descarga espontánea en ellas es menor que en las otras.



Gráfica No 3 Descarga espontánea de las baterías a diferentes temperaturas

FINIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las cuatro curvas indican la descarga espontánea de cuatro baterías mantenidas inactivas durante 90 días a las temperaturas indicadas. (Delco-Remy División of General Motors Corporation).

IV.3.15 - Tiempo de Recarga.

El tiempo de recarga puede variar de 5 a 6 horas o incluso de 10 a 12 horas. Esto depende del voltaje de las baterías y del voltaje de salida de las estaciones de servicio. Un automóvil con unas baterías a 96 volts que se cargan con un voltaje de 110 volts pueden tardarse en cargar de 10 a 12 horas (esto ocurre cuando las baterías están completamente descargadas, algunas personas utilizan su automóvil solo durante una parte del día, por lo que la batería no se descarga completamente y por consiguiente el tiempo de recarga es menor). Las baterías del mismo automóvil a 96 volts, podrían cargarse dos veces más rápido con una estación de servicio a 220 volts. Con lo cual se deduce que el cargar las baterías con 120 voltaje toma más tiempo.

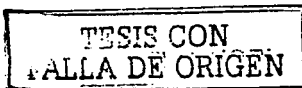
El método más común de carga consiste en instalar el cargador a bordo del vehículo (adecuando la tensión a las necesidades de carga) funcionando a 120 volts que es la tensión comercial disponible en el hogar.

Existen algunos métodos que en los que el tiempo de carga puede tomar solo unos minutos pero no se encuentran disponibles comercialmente. Este tipo de carga requiere un voltaje muy elevado, del orden de 440 volts o más. Este voltaje debe regularse cuidadosamente para prevenir daños a las baterías.

Estos métodos sólo pueden cargar las baterías alrededor del 80 % de su capacidad ya que podrían causar daño a las baterías.

IV.3.16 - Número de Baterías Utilizadas.

En las conversiones que se realizan actualmente en vehículos de mediano tamaño el número de baterías empleadas varía entre 16 y 24. Estas baterías son especialmente diseñadas para automóviles eléctricos y entregan una tensión de 6 volts y son conectadas en serie para producir entre 96 y 144 volts. Algunos vehículos utilizan más baterías y un voltaje más elevado, ya que son utilizados para competencia, estos sistemas pueden alcanzar los 312 volts, esto es posible con un motor de CA funcionando a altas revoluciones por minuto. Otros sistemas utilizan CD, pero los costos de operación son mayores.



IV.3.17.- Contaminación Generada por la Electricidad.

Un automóvil eléctrico es de 35 a 97% más limpio que un vehículo a gas, incluyendo la contaminación generada por la planta de energía eléctrica. El 35% se aplica cuando se utiliza la energía generada por plantas que queman combustibles fósiles y el 97% incluyen plantas de energía nuclear, hidroeléctricas, eólicas y solares.

Las baterías de plomo-ácido son el tipo más reciclable se puede llegar a reciclar hasta el 95%, generalmente al comprar una batería nueva se puede dar a cambio la batería usada.

IV.3.18 - Riesgo de Accidente.

Esto depende del diseño y construcción del vehículo. Si las baterías están en un compartimiento aislado de los pasajeros, no representan ningún peligro.

El ácido de las baterías no es tan peligroso como mucha gente supone. En primer lugar porque este se encuentra en una solución diluida y no es tan dañino si se lava inmediatamente después del contacto. Asimismo este se encuentra en pequeños contenedores (celdas) de la batería por lo que la cantidad de líquido es pequeña. Se tendría que cortar cada celda para poder tener un derrame significativo. Si se toma en cuenta que en un automóvil de combustión interna se tienen baterías de plomo-ácido bajo el asiento del conductor o en las esquinas delanteras del vehículo y que además no cuentan con ningún tipo de contenedor y que está es la primer parte que se destroza en un accidente, las baterías de los vehículos eléctricos resultan ser mucho menos peligrosas.

Así mismo con medidas de seguridad como fusibles, "breaker's", etcétera, los riesgos de explosión, fuego y cortocircuitos son improbables. En los vehículos eléctricos no se utiliza el chasis como tierra, esto significa que en caso de un accidente no se producirá un cortocircuito entre el metal del chasis y el borne positivo de la batería.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.4. - Panorama del Vehículo Eléctrico en México.

En nuestro país, a pesar del establecimiento de programas encaminados a mejorar la calidad del aire, el problema aún persiste e incluso se han creado otros que provocan el aumento de los índices de contaminación, como es el incremento del parque vehicular. Ante esa situación, el vehículo eléctrico se convierte hoy en día en una excelente opción debido a su característica fundamental de "cero contaminación". Además, su gran versatilidad, fácil desplazamiento y bajo costo de mantenimiento lo hacen atractivo para su uso en lugares de mucho tránsito como la ciudad de México.

Indudablemente la incorporación de este auto de todo el mundo no ha sido fácil. El principal problema radica en los costos y en la autonomía de las baterías. Sin embargo, en las grandes ciudades resulta ya una necesidad que evidentemente esta siendo considerada, pues ya hay claros indicios de acelerar este proceso. En países de la comunidad Europea, como Italia, se realizan ya diversas acciones encaminadas a crear financiamientos para la compra de autos eléctricos.

IV.5. - Datos Económicos del Proyecto.

5	\$10	Interruptores automotrices con luz indicadora de encendido	\$50
1	\$100	Medidor de potencia	\$100
1	\$40	Till de 4 dígitos de 7 segmentos	\$40
2	\$20	MLUX de 4 * 16 líneas	\$40
6	\$10	Compuertas lógicas AND, OR, NOT	\$60
			\$940

Tabla IV.2.- Datos Económicos del Material de la Fuente (incluyendo los elementos del circuito de comunicación).

HECHO CON
FUELLA DE ORIGEN

IV.5.1.- Proveedores.

Existen diversos proveedores los cuales manejan productos relacionados a las ampliaciones fotovoltaicas y que manejan diversos productos de diferentes marcas, algunos, los encontramos más fácilmente en el mercado y nos proporcionaron la siguiente información de sus productos para aplicaciones fotovoltaicas:

A - S - E

AL. Instrucciones de instalación y especificaciones para un modulo ASE - 50 -

Este modulo utiliza células policristalinas producidas por una tecnología propia de EFG y técnicas de proceso de estado-de-arte. Las células interconectadas están selladas en un laminado de vidrio/aluminio para excluir polvo y proveer de aislamiento eléctrico, sus características físicas y construcción de se reflejan en la Tabla IV.3 y la Tabla IV.4.

Longitud	38" ± 1/8"
Ancho	18" ± 1/8"
Peso	14lb ± 1lb

Tabla IV.3.- Características Físicas de los Módulos ASE.

Células solares	36 células policristalinas de silicio (AFG), 100mm cuadrados
Encapsulante	Encapsulante propietario (no-EVA)
Cubierta de vidrio	Templado, 1/8" espesor, bajo en hierro
Forro trasero	Alto rendimiento
Marco	Acabado de aluminio

Tabla IV.4.- Construcción del Módulo.

TABLE CON
ETIQUETA DE ORIGEN

Los siguientes datos eléctricos (Tabla IV.5) se desprenden de los módulos en operación en condiciones estándar de prueba (STC); irradiación solar de 100 $mill/cm^2$ espesor de AM 1.5 y temperatura en la celda de 25° C. Las características eléctricas están dentro de las tolerancias enunciadas en la STC.

Los siguientes son datos ilustrados solamente:

P_{max}	Watts dc	48
V_{max}	Volts dc	16.8 ± 10%
I_{max}	Amps dc	2.86 ± 10%
V_{oc}	Volts dc	20.8 ± 10%
I_{sc}	Amps dc	3.1 ± 10%
V_{max}	Volts dc	50

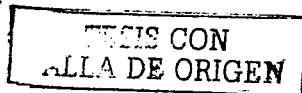
Tabla IV.5 Características Eléctricas.

Bajo condiciones normal de operación, un módulo fotovoltaico experimentará en ocasiones condiciones que puedan producir más corriente y/o voltaje que el reportado bajo las condiciones estándar de prueba. De acuerdo con esto los valores de corriente de corto circuito y voltaje de circuito abierto de este módulo deberán ser multiplicados por un factor de 1.25 cuando se determinan componentes de rango de voltaje, capacidades del conductor, tamaño de fusible, y tamaño de controles conectados a la fuente de voltaje de salida.

Los siguientes coeficientes de corrección de temperatura (Tabla IV.6) deberían de ser aplicados a la STC datos (en una celda a temperatura de 25° C) para predecir el desarrollo del modulo en condiciones de campo.

Voltaje	-0.38%/°C
Corriente	-0.10%/°C
Potencia	-0.50%/°C

Tabla IV.6.- Efectos de Temperatura.



IV.5.2.- Precauciones y Seguridad.

Todas las instrucciones deben ser leídas y entendidas antes de intentar instalar u operar los módulos fotovoltaicos. Las siguientes precauciones de seguridad deben ser observadas.

En los módulos y arreglos que operan a voltajes más elevados de 20 volts siempre existen voltajes letales. El riesgo de un shock siempre está presente durante las horas de luz de día, aún a bajos niveles de luz.

- ✓ No dé servicio a ninguna de las partes del sistema, si usted no está totalmente calificado para hacerlo. Debe estar entrenado y entender la operación eléctrica del módulo para dar servicio a cualquier componente del sistema.
- ✓ No intente remover nieve o hielo del modulo. El módulo continuará operando aún cubierto de nieve o hielo.
- ✓ No pise la superficie del modulo esto puede rasgar o dañar la superficie de vidrio.
- ✓ No concentre la luz solar directamente hacia el módulo. Esto puede sobrecalentar y acortar la vida del módulo.
- ✓ No instale el módulo durante altos vientos.
- ✓ No use módulos sin sistemas que excedan 50 volts.

IV.5.3.- Instalación del Módulo.

1.- Orientación - Los módulos deben ser localizados en una locación sin sombra donde reciban una máxima exposición a los rayos del sol por el tiempo más prolongado posible durante el día. Las sombras pueden reducir significativamente la potencia de salida de los módulos. En el hemisferio norte, los módulos deben ser orientados hacia el sur verdadero (no magnético). Este seguro de que los módulos estén bien localizados y no cubiertos por edificios, árboles, postes, u otras obstrucciones, particularmente durante los meses cuando el sol esta en la parte baja del cielo.

TRIS CON
ALLA DE ORIGEN

2.- Montaje. Las estructuras de montaje y equipo de montaje no son surtidos con el módulo. Los módulos pueden ser sujetos a una estructura riel de soporte provisto en la base. La estructura de soporte debe ser diseñada para contar con el apropiado ángulo de montaje, carga de diseño, y espacio de expansión térmica. Las conexiones con el módulo a la estructura de soporte deben ser hechas en 4 puntos usando pernos de 3/8". El margen de los hoyos se da en los flancos negros del marco del módulo.

3.- Carga de diseño. Cuando se instala propiamente, una carga de 50lbs / pie² pueden ser soportados sin daño al módulo. El módulo debe ser conectado a una estructura de soporte diseñada de acuerdo a los hoyos de montaje como se describe arriba.

4.- Espacio para expansión térmica. El sistema diseñador/instalador debe considerar la expansión térmica cuando se diseña la estructura del soporte. Un espacio de 0.25 pulgadas entre módulos será suficiente en la mayoría de las instalaciones. Sin embargo, el espacio apropiado depende de muchos factores incluyendo la estructura de soporte, la temperatura de instalación, y la máxima temperatura de operación esperada del módulo.

5.- Conexión Eléctrica. Los módulos serán conectados de acuerdo con el artículo 960 de la National Electric Code (United States, NEC) y los códigos locales. Las siguientes secciones proveen información para asistir al instalador en la interconexión eléctrica de los módulos.

6.- El cable para la interconexión de los módulos. La capacidad y rangos de voltaje de la interconexión de cables del módulo son sistemas — dependientes y deberían ser seleccionados de acuerdo a los artículos 690 – 7 y 690 – 8 de la NEC. El cable debe ser escogido para exposición directa a los rayos del sol y para condiciones húmedas. Típicamente, los módulos están eléctricamente interconectados en serie usando No. 16 AWG. Los tipos de cable aceptables son SE, USE, TC y UF con conductores de cobre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

L.- El Proveedor Robinson.- Este proveedor ofrece un acumulador con las siguientes características (Tabla IV.7)

MARCA	ROBINSON
TIPO	GC - 2 (Corresp. Al grupo internacional GC_2) especial para vehículos eléctricos y ciclos profundos de carga descarga.
TERMINALES	Disponible con terminales especiales de tornillo. Sobre pedido también en otros tipos de terminales.
TIPO DE PLACAS	Rectangulares planas especiales para ciclos profundos de carga descarga
CANTIDAD DE PLACAS	19 placas por celda, 114 en total.
ELECTRILITO	Solución de ácido sulfúrico 1250g/l.
CONSTRUCCIÓN	Polipropileno sellado epóxico
VOLTAJE NOMINAL	6v
RENDIMIENTO GOLF	105 min. 25°C. en uso continuo según especificación internacional para vehículos eléctricos, entregando 75 amperes continuos.
CAPACIDAD A 20 HRS.	.195 amp - hr. Nominales en aplicaciones fotovoltaicas.
PESO	25 kg. Aproximadamente
DIMENSIONES	. Largo 26.0 cm. Ancho 17.8 cm. Alto 24.5 cm (no incluye terminales que miden 4 cm aproximadamente).
NORMAS APLICABLES	BCI, Electric Vehicle Battery Test
SELLO NOM	1071 - I

Tabla IV.7.- Características del Acumulador Marca *Robinson*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II. - El Proveedor Heliotecnia.

Este proveedor nos ofrece generadores de silicio policristalinos, los cuales son más sensibles a las modificaciones de los niveles de radiación y a la radiación indirecta, sus características se observan en la Tabla IV.8.

	HELIOTECNIA	AMERICAN	AMERICAN
Capacidad	90 A-Hr	120 A-Hr	106 A-Hr
Peso	35kg	23kg	19kg
Dimensiones	(40*20*20)cm	(19*19*17)cm	(19*19*17)cm
Costo	\$150+iva	\$530+iva	\$250+iva
Limite tolerable de descarga	50%	50%	50%
Vida útil		6 años	6 años

Tabla IV.8. - Tabla Comparativa de Acumuladores.

III. - El Proveedor SOLAREX.

Las células solares de esta marca están optimizadas para la luz visible y su eficiencia cuántica disminuye rápidamente en el infrarrojo y en la zona ultravioleta; además ofrece los productos de la Tabla IV.9 que son los de a continuación:

CODIGO		ARTICULO	PRECIO	
1.01	Módulo F.V.	MSX-64	\$600.72	3.66
1.02	Módulo F.V.	MSX-60	\$532.18	3.5
1.03	Módulo F.V.	MSX-56	\$525.64	3.35
1.04	Módulo F.V.	MSX-50	\$469.80	2.92
1.05	Módulo F.V.	MSX-48	\$500.60	2.95
1.06	Módulo F.V.	MSX-40	\$409.50	2.35
1.07	Módulo F.V.	MSX-30	\$337.50	1.75
1.08	Módulo F.V.	MSX-18	\$261.00	1.1
1.09	Módulo F.V.	MSX-10	\$157.50	0.62
1.10	Módulo F.V.	SA-5	\$78.63	0.29
1.12	Módulo F.V.	MSX-53	\$544.64	3.2
1.17	Módulo F.V.	SA-2	\$65.33	0.15
1.18	Módulo F.V.	MSX-83	\$779.07	4.95
1.19	Módulo F.V.	MSX-77	\$722.75	4.56
1.20	Módulo F.V.	VLX-53	\$490.00	3.12
1.21	Módulo F.V.	VLX-32	\$360.00	1.88
1.22	Módulo F.V.	MSA-10	\$157.50	0.62

Tabla IV.9.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.6 - Costos de los Aditamentos.

1. - El Controlador.

	Control con LVD	PLC-1	\$126.0 0	16
2.03	Control noche/dia	PLC-1P	\$126.0 0	16
2.04	Control con Timer	PLC-1T	\$144.0 0	16
2.05	Switch Fococensor	SCID12/10	\$72.00	10
2.06	Controlador	ASC-12/16	\$89.10	16
2.07	Controlador 12/24 v	C-30*	\$99.00	30
2.08	Controlador12/24v	CTI-30LVD	\$100.8 0	30
2.09	Control con Timer	CTI-30TM	\$135.0 0	30
2.10	Controlador	GPC-12-20- 2	\$60.00	20
2.11	Switch Timer	SCTI-12/30	\$249.3 0	30
2.12	Controlador	CTI-20	\$75.60	20
2.13	Control 48V 90A	CTI-4890	\$511.2 0	ERROR
2.14	Control 48V 90A	CTI- 4890LVD	\$614.7 0	ERROR
2.15	Control 24V 90A	CTI-2490	\$495.0 0	ERROR
2.16	Control 24V 90A	CTI- 2490LVD	\$594.0 0	ERROR
2.17	Controlador	CTI-20LVD	\$96.30	20
2.18	Caja de fusibles	Para 41 amperes	\$32.00	NO APLICA
2.19	Convertidor voltaje	dc-dc	\$36.00	NO APLICA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2 - La Iluminación.

	Baladra	B 12/40 DC	\$28.00
3.01	Baladra	B PL-13DC	\$41.70
3.02	Baladra	B PL-24/36DC	\$52.80
3.03	Arbotante público	P3610H	\$2,534.00
3.04	Luminaria centinela	LUXPL-36DC	\$153.00
3.06	Luminaria centinela	LUXPL-24DC	\$144.00
3.07	Luminaria centinela	LUXPL-13*2DC	\$162.00
3.08	Luminaria centinela	LUXPL-13DC	\$95.00
3.09	Lámpara compacta	SL*18	\$20.00
3.10	Reflector	SL*18R40	\$24.00
3.11	Lámpara compacta	PL-13DC	\$26.13
3.12	Lámpara compacta	PL-9AC	\$10.05
3.13	Lámpara compacta	PL-7AC	\$11.25
3.14	Lámpara tubular	LUX-20	\$28.00
3.15	Lámpara tubular	LUX-39	\$30.00
3.16	Base socket	S/PL-13	\$1.65
3.17	socket	S/LUX-20	\$1.91
3.18	socket	S/PL-24/36	\$4.98
3.19	Poste luminaria	PCG/6M	\$130.22
3.20	Gabinete lámpara	G/LUX-20	\$2.35
3.21	Gabinete lámpara	G/LUX-39	\$7.48
3.22	Luminaria solar	LS 150/36DC	\$222.84
3.23	Tubo lámpara	T/PL-24	\$26.11
3.24	Tubo lámpara	T/PL-36	\$19.92
3.25	Clip para lámpara	C/PL-24/36	\$0.01
3.26	Interruptor para pared	Sobreponer	\$1.14
3.27	Tubo lámpara	T/LUX-20	\$2.64
3.29	Candado clip	CC/PL-24/36	\$0.01
3.30	Baladra	B/PL-9/PL-7	\$7.82
3.31	Tubo lámpara	T/PL-9	\$5.06
3.32	Gabinete P/Batería	f. de vidrio	\$60.00
3.36	Lámpara compacta	ESL-18	\$18.90
3.38	Tubo lámpara	T/PL-7	\$2.14
3.39	Socket	S/LUX-39	\$3.00
3.40	Tubo lámpara	T/LUX-39	\$21.00
3.41	Brazo luminaria	BrazoP38	\$7.17
3.42	Carcasa luminaria	SU-150-LB	\$165.00
3.43	Luminaria solar	LS-150/DC	\$222.84
3.44	Gabinete lámpara	G/PL-13	\$
3.45	Tubo lámpara	T/PL-13	\$3.00
3.46	Socket	S/PL-9	\$1.41
3.47	Lámpara compacta	PL-9DC	\$27.65
3.48	Lámpara compacta	SL-23	\$41.78

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.49	Balaustra	B/PL-9DC	\$
3.50	Lámpara compacta	SL*17	\$19.50
3.51			

3.- Los Inversores.

	Inversor 12/115V	UPG 400	\$54.00	4000
4.01	Inversor 12/115V	UPG700	\$875.00	700
4.02	Inversor 12/115V	UPG1300	\$1,080.00	1300
4.03	Inversor 12/115V	POW-200	\$190.00	1400
4.04	Inversor 12/115V	PV400		400
4.05	Inversor 12/115V	PV-1200	\$610.45	1200
4.06	Inversor 12/115V	812		800
4.07	Inversor 12/115V	2512	\$1,667.72	2000
4.08	Inversor 48/115V	SW4048	\$4,511.82	Error
4.09	Inversor 24/115V	DR2424	\$1,736.00	Error
4.10	Inversor 24/115V	724	\$976.00	Error
4.11	Inversor 12/115V	GPI ULTRA 400	\$140.00	400
4.12	Inversor 12/115V	PC-140	\$91.00	140
4.13	Inversor 12/115V	PC-600	\$332.00	600
4.14	Inversor 12/115V	CTI-400	\$297.00	400
4.15				

4.- Los UPS.

	Sistema Respaldo	812SB	\$850.20
5.01	Sistema Respaldo	2512SB	\$1,956.00
5.02	Sistema Respaldo	2624SB	\$2,296.00
5.03	Sistema emergencia	SB400	\$412.00
5.04	Sistema emergencia	SB1000	\$1,027.00
5.05	Sistema emergencia	SB2000LAN	\$1,792.00
5.06			

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5 - Los Electrificadores.

7.01	Electrificador cerca	SOLAR PACK	
------	----------------------	------------	--

6 - Los Paquetes.

	Paquete F.V. 12v	PAQUETE 40	\$652.70	652.699
10.01	Paquete F.V. 12v	PAQ-60	\$806.38	806.379
10.02	Paquete F.V. 115v	PAQ-402X	\$1,228.32	1228.32
10.03	Paquete F.V. 115v	PAQ-602X	\$1,535.68	1535.68
10.04	Paquete F.V. 112v	PAQUETE 30	\$591.00	591
10.05	Paquete F.V. 112v	PAQUETE 50	\$734.87	734.866
10.06	Paquete F.V. 115v	SISTEMA 384	\$1,017.79	1017.79
10.07	Paquete F.V. 115v	SISTEMA 768	\$1,848.89	1848.89
10.08	Paquete F.V. 115v	SISTEMA 1536	\$3,880.54	3880.54
10.09	Paquete F.V. 115v	SISTEMA 3072	\$7,186.67	7186.67
10.10	Paquete F.V. 115v	SISTEMA 5376	\$11,039.00	11039

7 - Las Unidades Móviles.

11.01	Unidad Móvil Solar	UMS-1300	\$6,748.03
-------	--------------------	----------	------------

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

8 - Los Acumuladores.

					A-H	VOLTS
	Batería 50 A-H	11FF	\$35.81	\$275.77	50	12
12.06	Batería 65 A-H	13JD	\$47.15	\$363.06	60	12
12.07	Batería135 A-H	23E	\$83.13	\$640.09	135	12
12.08	Batería195 A-H	27C	\$103.83	\$799.48	195	12
12.09	Batería105 A-H	FP-31-19	\$79.50	\$612.15	105	12
12.10	Batería 120 A-H	21	\$37.79	\$290.96	120	6
12.11	Acumulador 2V	EHP-19	\$270.00		500	2
12.12	Acumulador 2V	FHP-13	\$414.00		750	2
12.13	Acumulador 2V	FHP-15	\$431.00		875	2
12.14	Acumulador 2V	FHP-17	\$480.00		###	2
12.15	Acumulador 2V	FHP-25	\$666.00		###	2
12.16	Acumulador 2V	FHP-17	\$702.00		###	2
12.17	Acumulador 2V	FHP-29	\$756.00		###	2
12.18	Acumulador 2V	FHP-33	\$864.00		###	2

9 - Los Promocionales.

	Gorra Solar		\$23.00
21.01	Solarometro		\$80.00

Tabla IV.10.- Tabla de Productos SOLAREX.

IV.7 - Pruebas Realizadas a los Paneles del Sistema.

1.- Resultados de la Prueba de Circuito Abierto en el Módulo MSX-64 de la Marca SOLAREX.

Está prueba consistió en conectar un panel MSX-64 en circuito abierto, con la disposición de la figura IV.1 y algunos aparatos de medición como son: voltímetro, termómetro, piranómetro y cronómetro. Las condiciones y descripciones de la Tabla IV.11 son descritas al finalizar la tabla, el comportamiento del panel se observa en la figura IV.2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

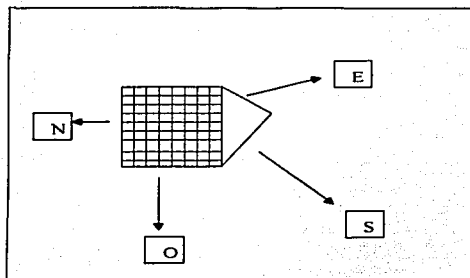


Figura IV.1.- Orientación del Panel para la Prueba.

Voc (Volts)	T(°celcius)	SR(watts/m2)	Hr(hr: min)	Lectura
19.6	26	804	13:40	1
18.4	25	890	13:50	2
17.8	21	381	13:55	3
18.4	21	315	14:00	4
19.4	22	802	14:05	5
18.9	24	854	14:10	6
18.8	23	831	14:15	7
18.9	22	785	14:20	8
18.3	23	812	14:25	9
18.8	22.5	790	14:30	10

Tabla IV.11.- Resultados de la Prueba de Circuito Abierto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Donde:

Hr (hr:min) es la hora en que se realizó la medición con el formato de hora y minutos.

SR (Watts/m^2) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba.

T° (Celsius) es la temperatura registrada en el área de donde se realizó la prueba.

Voc (volts) es el voltaje de circuito abierto que nos entrega el módulo fotovoltaico.

Los parámetros de temperatura y radiación solar son tomados del sensor de temperatura y del sensor de radiación solar respectivamente que se encuentran instalados en la torre meteorológica ubicada dentro del edificio de sismología dentro del Instituto Mexicano del Petróleo con latitud de $19^\circ 29' 20''$ y una longitud de $99^\circ 08' 50.52''$ con elevación de 2286 metros sobre el eje elipsoidal (datos tomados de un receptor GPS marca Ashtech conectado a 7 satélites perteneciente al departamento de Geofísica). Con respecto a la orientación del módulo este se dispuso de oeste a este con cara al oeste y una inclinación de 13.07° .

Como resultado de la Tabla IV.4 se desprende que el voltaje varía según la intensidad de radiación solar y que los voltajes máximos se alcanzan después de los 80 W/m^2 arriba de 18 V para esta prueba se escogió un día soleado para poder ver el valor de voltaje máximo

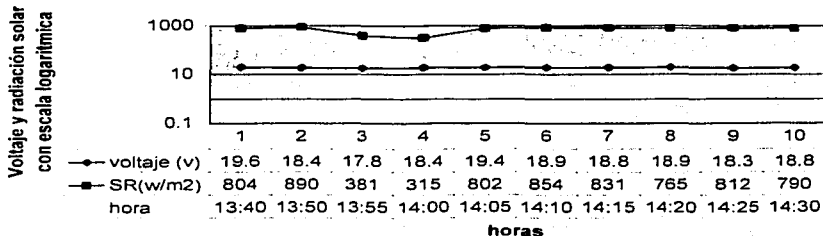


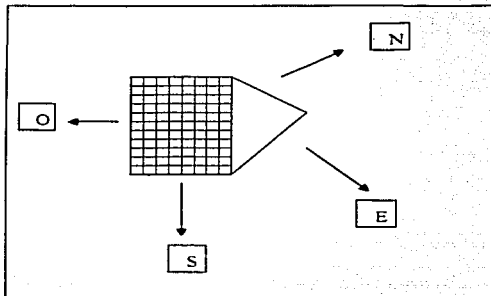
Figura IV.2.- Comportamiento del Panel MSX-64.

TESIS CON
ALLA DE ORIGEN

2.- Resultado de la Prueba de Circuito Abierto en el Módulo MSX-64 de la Marca SOLAREX.

Esta prueba se desarrolla de igual manera que la anterior pero con diferente orientación (figura IV.3), se conectaron algunos sensores más, como el de presión barométrica y humedad relativa. Los resultados se muestran en la tabla IV.12, debajo de las mismas se anotan las condiciones y explicaciones de la tabla. El comportamiento del panel en estas las vemos en la figura V.4.

Figura IV.3.- Orientación del Panel durante la Prueba.



Voc (volts)	SR (w/m2)	T (°celcius)	Hr (hr:min)	RH (%)	BP (mbar)
18.94	675.00	23.50	11:30	23.5	786
18.00	726.00	26.00	11:55	21.4	705
17.96	754.00	27.10	12:30	22.8	705
18.03	800.00	27.70	12:45	21.2	705
17.68	800.00	27.00	12:55	20.6	785
17.63	752.00	28.50	13:05	21.2	762
17.84	795.00	28.90	13:21	21.4	762
18.15	790.00	29.00	13:35	21.2	762

Tabla IV.12.- Resultados de la Prueba de Circuito Abierto.

Donde:

Voc (volts) es el voltaje de circuito abierto que nos entrega el módulo fotovoltaico.

SR (W/m²) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba.

T° (Celcius) es la temperatura registrada en el área de donde se realizó la prueba.

Hr (hr:min) es la hora en que se realizó la medición con el formato de hora y minuto.

RH (%) es el valor de humedad relativa en el área donde se realizó la prueba.

BP (mbar) es el valor de presión barométrica en el área de la prueba.

La figura IV.4 nos muestra como al variar la radiación solar varía también en proporción directa el voltaje y la temperatura.

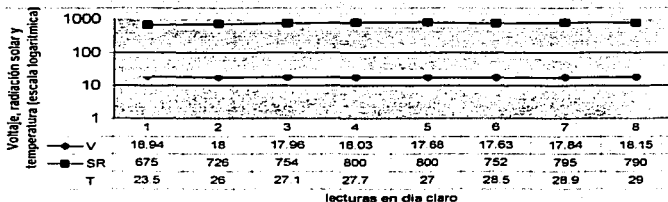


Figura IV.4.- Comportamiento del Panel MSX-64 durante la Prueba.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.- Resultados de la Prueba de Cargas de 1 a 6 Ω , para Determinación de Corrientes Máximas en el Módulo MSX-64 de la Marca SOLAREX.

En esta prueba se instaló un panel MSX-64 conectado a una resistencia variable de 1-6 Ω con la orientación de la figura IV.5 con las condiciones señaladas en la tabla de resultados IV.13 donde se observó el comportamiento de la figura IV.6

R (ohms)	I (Amp)	V (volts)	SR (watts/m2)	T ($^{\circ}$ Celcius)	Hr (hr:min)	Clima
5.75	0.83	4.5	219.8	18	11:35	Nublado
5.75	1.08	6	294.3	19	11:38	Nublado
5.1	1.45	6.56	385.8	19.5	11:44	Nublado
5.1	0.83	3.7	214.9	19.5	12:00	Nublado
4.2	0.84	3.14	208.8	19.5	12:06	Nublado
4.2	0.68	2.5	163.6	19	12:11	Nublado
3.3	0.63	1.8	157.5	19	12:16	Nublado
3.3	0.7	2.17	180.2	19	12:18	Nublado
2.1	0.8	1.29	195.4	19	12:20	Nublado
2.1	0.86	1.4	214.9	19	12:30	Nublado
1	0.99	0.66	249.7	19	12:34	Nublado
1	0.61	0.43	150.2	19	12:45	Nublado

Tabla IV.13.- Resultados de la Prueba con Cargas de 1 a 6 Ω .

Donde:

Clima no representa las condiciones favorables o no para la captación solar.

Hr (hr:min) es la hora en que se realizó la medida y el formato de hora y minuto.

T $^{\circ}$ (Celcius) es la temperatura registrada en el área de donde se realizó la prueba.

SR (watts/m2) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba.

Voc (volts) es el voltaje que entrega el módulo fotovoltaico.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

I (Amp) es la corriente que circula por la carga cuando se le conecta una carga como la indicada.

R (ohms) nos representa la carga que tenemos conectada en el circuito del cual mostramos.

Con respecto a la orientación del módulo esto se dispuso de norte a sur con cara al sur y una inclinación de 13.07°.

En esta prueba el valor de la radiación no fluctuaba mucho (día nublado) y se observa que al disminuir la resistencia disminuye el voltaje y la corriente.

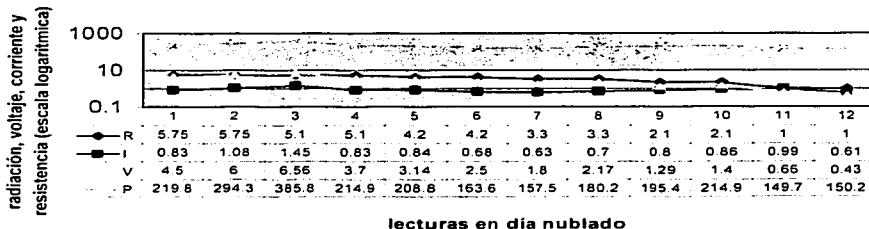


Figura IV.5.- Comportamiento del Módulo SOLAREX con Variación de Carga.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4.- Resultados de la Prueba de Cargas de 1 a 8 Ω para Determinación de Corrientes Máximas en la Celda MSX-64 de la Marca SOLAREX.

Esta prueba se realizó de igual forma que la anterior pero con diferentes condiciones meteorológicas como se observa en la Tabla IV.3, el comportamiento del panel lo vemos en la figura IV.6

R (ohm)	I (Amp)	V (volts)	SR (w/m ²)	T (°celcius)	Hr (hr:min)	Clima
7.5	2.54	14.46	688.7	22	11:00	Despejado
5.75	2.68	13.95	705.2	22	11:05	Soleado
5.1	2.93	13.01	705.2	22	11:07	Despejado
4.2	3.05	11.13	705.2	22	11:10	Soleado
3.3	3.21	9.21	720	23	11:15	Despejado
2.1	3.36	5	755	24	11:20	Soleado
1	3.36	1.38	752	24	11:25	Despejado

Tabla IV.14.- Resultados de la Prueba con Cargas de 1 a 8 Ω .

Donde:

Clima no representa las condiciones favorables o no para la captación solar.

Hr (hr:min) es la hora en que se realizó la medida y el formato de hora y minuto.

T° (Celcius) es la temperatura registrada en el área de donde se realizó la prueba.

SR (Watts/m²) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba.

Voc (volts) es el voltaje que entrega el módulo fotovoltaico.

I (Amp) es la corriente que circula por la carga cuando se le conecta una carga como la indicada.

ANÁLISIS CON
FALLA DE ORIGEN

R (ohm) nos representa la carga que tenemos conectada en el circuito del cual mostramos.

Los resultados de esta prueba obtenidos en la figura son, que después de los 750 W/m² se obtiene una corriente de 3.36 o más que es un dato provechoso ya que según el fabricante estos módulos proporcionan 3.66 A como pico a los 1000 W/m². La corriente sube al disminuir la resistencia por estar cercana al corto circuito y circula la máxima corriente. El voltaje disminuye al disminuir la resistencia por estar cercana al corto circuito. Con respecto a la orientación del módulo, este se dispuso de norte a sur con cara al sur y una inclinación de 13.07.

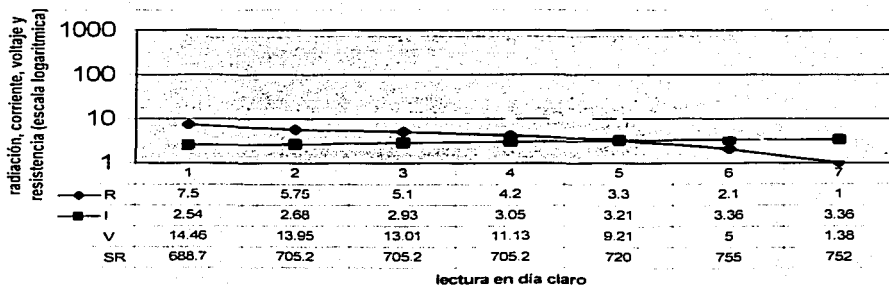


Figura IV.6.- Gráfica Variando la Carga en un Día Claro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.- Resultados de la Prueba de Cargas de 1 a 8 Ω para Determinación de Corrientes Máximas en la Celda MSX-64 de la Marca SOLAREX.

En esta prueba se le dio al panel un ángulo mayor, para observar su comportamiento, podemos observar los resultados en la tabla IV.15.

R (ohm)	I (Amp)	V (volts)	SR (w/m2)	T ($^{\circ}$ celcius)	Hr (hr:min)	Clima
7.5	2.57	14.86	830	24.5	11:55	Despejado
5.75	2.7	14.51	815	24	11:57	Soleado
5.1	3	13.28	803	26	11:30	Despejado
4.2	3.3	12	790	26	11:33	Soleado
3.3	3.61	10.14	812	25.5	11:35	Despejado
2.1	3.72	5.5	815	26	11:40	Soleado
1	3.72	1.43	812	26	11:50	Despejado

Tabla IV.15.- Resultados de la Prueba con Cargas de 1 a 8 Ω .

Donde:

Clima no representa las condiciones favorables o no para la captación solar.

Hr (hr:min) es la hora en que se realizó la medida y el formato de hora y minuto.

T $^{\circ}$ (Celcius) es la temperatura registrada en el área de donde se realizó la prueba.

SR (Watts/m 2) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba.

Voc (volts) es el voltaje que entrega el módulo fotovoltaico.

I (Amp) es la corriente que circula por la carga cuando se le conecta una carga como la indicada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

R (ohm) nos representa la carga que tenemos conectada en el circuito del cual mostramos

Las tres pruebas anteriores se hicieron con el panel fotovoltaico dispuesto de norte a sur con cara al sur y con diferente inclinación, de 25° C.

En la figura IV.7 se observa que la corriente aumenta conforme disminuye la resistencia por que la resistencia tiende al corto circuito. El voltaje disminuye conforme disminuye la resistencia por que la resistencia tiende al corto circuito.

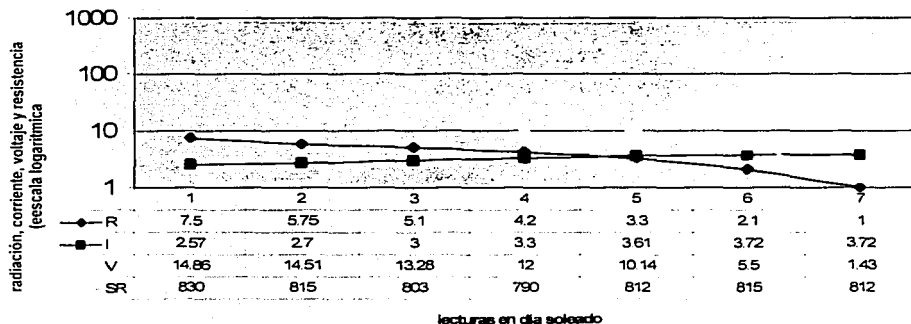


Figura IV.7.- Comportamiento del Panel MSX-64 Durante la Prueba con Cargas de 1 a 8 Ω.

IV.8 - Respuestas del Sistema.

IV.8.1.- Prueba de la Fuente con un Foco de 150 Watts de 120 Volts y Tres de 40 Watts de 12 Volts.

En esta primera prueba se conectaron un foco de 150 W a la salida del inversor de la fuente u después, 3 focos de 40 W a la entrada del inversor de la fuente.

Los resultados fueron los siguientes:

Consumo real del foco de 150 W.

Corriente x Voltaje de la fuente = Potencia.

$$1.17 \text{ A} \times 137.4 \text{ Vc-a} = 160.76 \text{ W.}$$

Como la potencia es la misma en c-a y c-d calcule la corriente en base al voltaje:

Potencia / Voltaje = Corriente.

$$160.76 \text{ W} / 11.7 \text{ Vc-d} = 13.74.$$

La causa de la diferencia entre lo teórico y lo real (los 160 contra los 150 del fabricante) puede ser que al conectarlo consume un poco más por que esta frío pero una vez caliente se normaliza.

Consumo calculado de tres focos de 40W (120w en total):

Voltaje (V) x corriente (A) = Potencia (W), despejando la corriente

$$I \text{ total} = P/V$$

$$120 \text{ W} / 12 \text{ V} = 10 \text{ A}$$

por lo tanto cada batería (son 4) la corriente total se divide entre 4
 $10 / 4 = 2.5 \text{ A.}$

consumo real de tres focos de 40w (120w en total):

$$\text{Voltaje (V)} = 12.4$$

$$I \text{ total} = 7.8$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

por lo tanto cada batería (son 4) la corriente total se divide entre 4
 $708 \text{ A} / 4 = 1.95 \text{ A}$

La razón que la corriente en los focos de 40 Watts sea menor al ser alimentados con la fuente se debe a que el voltaje es mayor y entonces el consumo no se ve afectado marcadamente.

IV.8.2.- Prueba de la Fuente de Energía Eléctrica.

Además de la fuente de energía eléctrica por medio de energía solar se ha pensado en desarrollar en un proyecto aparte, un sistema de acondicionamiento de aire por medio de energía solar, pero como no podemos contar aún con ese sistema, se decidió verificar si los elementos de un sistema de acondicionamiento de aire convencional funcionaba correctamente con esta fuente.

La segunda prueba consistió entonces, en verificar si la fuente era capaz de hacer funcionar los siguientes equipos:

Un motor de doble eje que servirá de ventilador para el sistema de refrigeración y con dos analizadores de SO₂

2

Primeramente se verificó el voltaje en las baterías y el voltaje de los paneles registrándolos en la tabla IV.16.

	Batería 1	Panels 1	Batería 2	Panels 2	Batería 3	Panels 3	Batería 4	Panels 4	hora
V _i =	11.79		11.25		11.57		11.04		14:00
V		12.6		12.36		12.62		12.34	14:10
V	12.35		11.96		12.23		11.84		14:40

Tabla IV.16.- Voltaje en las Baterías y Paneles al Momento de la Prueba.

El motor de doble eje arranco accionado por la fuente de energía eléctrica sin problema alguno.

El analizador número 1 de "Thermo Environmental Corporation", Modelo 43 tuvo una serie de problemas para finalmente no arrancar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El analizador número 2 de "Thermo Enviromental Corporation", Modelo 43 A, no arrancó, pero tomaba un valor de corriente de 0,62 A, dato un poco extraño ya que al conectarlo a la línea del c-a mostraba una valor de 1.3 A.

IV.8.3.- Prueba de la Fuente de Corriente Eléctrica.

En esta tercera prueba para la fuente de la figura IV.3 las cargas fueron un compresor y un ventilador permanentes al acondicionamiento de aire diseñado en otro proyecto y los resultados fueron los siguientes:

En primer lugar se tomaron los valores de consumo de cada una de las líneas de C-A para después compararlos con los de la fuente:

a). Prueba de funcionamiento del compresor con c-a.

el compresor es de 1/8 de hp y 1705 a de arranque

consumo:

corriente x voltaje = potencia

$$106 \text{ A} \times 127 \text{ v} = 203,2 \text{ W}$$

b). Prueba de funcionamiento del ventilador con c-a.

consumo:

corriente x voltaje = potencia

$$0,9 \text{ A} \times 127\text{v} = 114,3\text{W}$$

c). Prueba de funcionamiento del ventilador con la fuente de alimentación por medio de energía solar.

corriente x voltaje = potencia

$$0,8 \text{ A} \times 135 \text{ v} = 108\text{W}$$

d). Prueba de funcionamiento del compresor con la fuente de alimentación por medio de energía solar.

El compresor no funciona y entonces al verificar la señal de onda del inversor con el osciloscopio se detectó lo siguiente:

La señal es cuadrada con un período de 11.2 mseg.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T (ms)	Frecuencia (Hz) = 1/T
11.2	89.29

Tabla IV.17.- Frecuencia de la Señal del Inversor de la Fuente.

La frecuencia de la tabla IV.16 es de aproximadamente de 90 Hz, siendo que la frecuencia debe ser de 60 Hz, lo que nos hace suponer que la frecuencia no permite que el motor arranque.

Al hacer esta misma prueba con la señal de un contacto del IMP: la señal es senoidal con un período de 16058 mseg, (tabla IV.18) con una frecuencia de 60 Hz, frecuencia apropiada para alimentar los equipos.

T (ms)	Frecuencia (Hz) = 1/T
1605	60.61

Tabla IV.18.- Frecuencia de la Señal del Inversor de la Fuente.

Cambiando la base de tiempo (basada en un capacitor y una resistencia) del dispositivo, por medio de una resistencia variable se logro corregir la frecuencia de 90 Hz a la deseada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.9. - Panorama del Vehículo Eléctrico en México.

En México, en opinión de fabricantes de estos autos, esto sería una alternativa que ayudaría a incrementar la demanda, lo que a su vez generaría mayor inversión para la investigación y desarrollo en partes, así como para la fabricación y construcción de estos prototipos.

Sin duda, habría que crear infraestructura destinada al suministro de energía eléctrica, pero ello solo cuando se cuente con una cantidad considerable de autos eléctricos en circulación. Por ahora y tal vez en los próximos 10 años, este problema esta resuelto, pues la recarga de las baterías puede efectuarse en cualquier contacto de corriente eléctrica. Cabe considerar que la velocidad promedio del tránsito en la ciudad de México es de 12 Km. Por hora, mientras que en el centro histórico se reduce a solo 6 Km. Por hora. Por ello, para lugares como estos, las velocidades hasta ahora alcanzadas por los prototipos ya probados resultan excelentes.

Algunos escépticos opinan que el problema de la contaminación no se revertirá con el uso del auto eléctrico, pues al generarse mayor corriente eléctrica las plantas termoeléctricas producirán más contaminantes. Para que eso suceda, según los fabricantes, tendría que haber más de 2 millones de vehículos eléctricos en circulación, y sin una previa plantación, situación que hasta ahora no se ha dado en las empresas con flotas considerables. Quedan además los recursos de las plantas hidroeléctricas y el aprovechamiento de celdas solares para generar corriente, y que al paso del tiempo va teniendo mejores resultados.

Un dato mas que ubica al auto eléctrico como una necesidad apremiante es el 88 % de la energía comercial consumida en el planeta se deriva de combustibles fósiles. En México asciende al 90 % y, según cálculos de especialistas, a la tasa actual de consumo de petróleo las reservas mundiales se agotarán en el año 2030, y en el 2054 las de gas natural.

Puesto que la ciudad de México es una de las más contaminadas en el mundo, el auto eléctrico ha despertado gran interés en empresarios, gobierno y la sociedad en su conjunto; en el programa integral de transporte del departamento del distrito federal ya se contempla la sustitución de autos privados, autobuses y combis por transporte colectivo eléctrico.

México ha desarrollado vehículos eléctricos desde 1970, pero la novedad surgió nuevamente y en 1992 se inicio la incorporación los autos eléctricos con fines de reparto por compañías que realizan esta actividad. Además, hay empresas de capital totalmente Mexicano que ya cuentan con los primeros prototipos de autos eléctricos con fines de reparto y de transporte colectivo. Asimismo, instituciones dedicadas a la investigación trabajan en el desarrollo y fabricación tanto de partes como de unidades de varios tipos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.9.1.- El Prototipo VECTA.

Vehículos eléctricos Mexicanos (VECTOR), creada por la división de vehículos eléctricos de fabricas alfa, S.A., actualmente cuenta con el prototipo Vecta pick up, de reparto para una tonelada.

Este vehículo, fabricado y diseñado en México (se importa el motor y la parte eléctrica), tiene un chasis de aluminio, su cabina es de fibra de vidrio y aluminio para obtener un mínimo de peso y sus 8 baterías, de 6 voltios están integradas en 2 cartuchos, lo que permite al operador la facilidad de cambio de las mismas cuando sea necesario. La camioneta posee un cable que puede conectarse a cualquier toma de corriente para la recarga de baterías, que dura aproximadamente 7 horas. Su velocidad máxima es de 40 Km por hora y la autonomía de las baterías es de 80 Km.

La construcción de este vehículo, con capacidad para dos personas, se efectuó en un año y actualmente se encuentra listo para salir al mercado, informa el director de VECTOR, ing. Javier Torres.

Su costo es equivalente al de una camioneta de reparto de combustible de gasolina, lo que la coloca en un nivel de competitividad ante los fabricados en otros países.

La intención es construir autos con equiplo totalmente nacional y para ello VECTOR ha iniciado convenios con la UNAM, con objeto de desarrollar las partes importados, situación que permitirá reducir el costo. A partir de enero de 1994, Vector produce 50 vehículos mensuales, que serán adecuados, si así se requiere, a las necesidades de los compradores.

Un proyecto que pronto podría integrarse al sistema de transporte colectivo eléctrico es el conocido como electrobús, diseñado y fabricada por la empresa Autos Eléctricos, S.A. para rutas cerradas con conflicto de tránsito. El electrobús o pesera eléctrica ya ha sido adquirido por el sistema de transporte eléctrico del departamento del distrito federal. Este prototipo, cuyo costo es de 50,000 dólares, reúne las características para cubrir las necesidades de transporte dentro del centro histórico de la ciudad de México. Este electrobús esta diseñado para circular 8 horas en tráfico crítico con una sola carga de baterías y capacidad para recorrer entre 80 y 90 Km a una velocidad de 45 Km por hora, aunque puede alcanzar una velocidad máxima de 65 Km, pero con menor rendimiento de su carga de energía. Jaime Tacher y Samarell, director del proyecto comenta que la intención de abarcar una parte del mercado en vehículos eléctricos que en México no había sido atacada, además de desarrollar tecnología novedosa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La capacidad del electrobus es de 16 pasajeros pesa 1175 Kg, incluyendo las 40 baterías de plomo-ácido, soporta una carga de 1100Kg y posee un sensor que al sobrepasar esta, hace que el vehículo se apague. Se mueve con 18 caballos de fuerza o 12 motores eléctricos de corriente directa de 1.5 caballos de fuerza cada uno. No cuenta con caja de velocidades ni embrague, por lo que la pérdida de la energía es mínima. Su chasis es de materiales compuestos: kevlar, fibra de vidrio y fibra de carbonato y la carrocería es de policarbonato.

Además el electrobus cuenta con una interconexión que permite modificar motores y aun cuando se ha eliminado la caja de velocidades, tiene tres modificaciones básicas y tres más en turbo.

1- Autos eléctricos para reparto. En la lucha contra la contaminación algunas empresas ya han incorporado a su sistema de transporte autos eléctricos. A la cabeza de estas se encuentra el grupo Sabritas - Gamesa, que desde noviembre de 1992 sustituyó 55 automóviles de combustión interna por vehículos eléctricos para circular en el primer cuadro de la ciudad. Con la incorporación reciente de otros 400 autos eléctricos, esta empresa se convierte en poseedora de la flota más grande del mundo, aseguro el ingeniero Benjamin Sequelis, Gte. De ingeniería de rutas de dicha empresa. Estos vehículos, diseñados para circular en áreas de mucho tránsito, como el centro histórico y colonias aledañas, son totalmente importados, ni una sola pieza es mexicana.

Los autos tienen una velocidad máxima de 50 Km por hora y capacidad de carga de 750 kilos netos. Utilizan 12 baterías de plomo-ácido con autonomía de 80 Km y pueden ser recargadas en cualquier contacto de energía eléctrica durante 8 horas. La suspensión es directa tipo pick up, el chasis reforzado, el motor de 20 caballos de fuerza, y las llantas rodada catorce. La cabina esta hecha de fibra de vidrio con una mezcla de plástico ligera. En la realización de este proyecto se han invertido 27 millones de nuevos pesos, pues a requerido crear subestaciones y nuevas instalaciones eléctricas, sin embargo, es una excelente opción en el combate a la contaminación, además de permitir a esta flota de autos estar exentos del programa hoy no circula.

2- Participación ecologista . En los esfuerzos por introducir vehículos eléctricos a nuestra ciudad participan también asociaciones civiles. Tal es el caso del Movimiento mexicano ecologista, que en un afán por contribuir a la mejora de la calidad del aire intentando la búsqueda de opciones en autos eléctricos. Después de una revisión de varios vehículos eléctricos de diferentes países, el M.E.M. a encontrado como mejor candidato al Kewet El-jet, automóvil fabricado y desarrollado en Dinamarca.

La cabina de este auto es de acero galvanizado templado. Tiene un peso total de 1000 kg, incluyendo las baterías de ciclo profundo, cuyo tiempo de carga es de 6 horas. Para el 100 % de su capacidad. Su velocidad es de 129 Km/h y la aceleración de 50 Km/h en 10 segundos con una carga llena de baterías alcanza entre 40 y 45 millas de manejo constante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El M.E.M. a firmado un convenio con el grupo industrial San Luis Delcorremi, empresa dependiente de la General Motors, a través del cual se iniciara próximamente la fabricación de este auto en México. Su costo será alrededor de los 60,000 nuevos pesos. Actualmente el M.E.M. cuenta con 108 vehículos, algunos de los cuales serán rentados y otros ya han sido vendidos.

Otro proyecto promovido por el M.E.M. es el sistema de transporte colectivo de cuarta generación llamado RUF System. Se trata de una patente de la comunidad de países nórdicos, y parte de la idea del tren elevado para trasladar al pasajero en su propio vehículo.

El RUG System consiste en un riel ligero elevado sostenido por columnas de acero, en el cual se cuegan autos eléctricos idénticos para viajar de un punto de la ciudad a otro, con la posibilidad de cambiar el riel, según la meta que se requiera. Este sistema en realidad tiene un doble uso, pues los autos eléctricos también podrán desplazarse en pavimento, ya que posee llantas convencionales. Una de las grandes ventajas es que el RUF alcanza una velocidad de 120 Km/h. La capacidad de los autos independientes es de una persona adulta y un niño, y su costo oscilara entre los 5500 y 6500 dólares por coche, este nuevo sistema que aun es un proyecto piloto en Dinamarca, será instalado y probado por primera vez en los Ángeles California.

3.- Minibús eléctrico de la UNAM.- Uno de os proyectos que se desarrollan en el instituto de ingeniería de la UNAM, es el conocido como minibús eléctrico de baterías, con capacidad para 30 personas cuyo uso estará destinado al transporte publico de pasajeros. A principios de 1993 un grupo de investigadores se dio a la tarea de construir este minibús eléctrico.

La potencia máxima será de 67 caballos de fuerza y su velocidad máxima es de 60 Km/h., la carrocería será de materiales ligeros no convencionales de gran resistencia como el Kevlar; las baterías son de plomo-ácido y su costo es de aproximadamente 400, 000 nuevos pesos. Este minibús utiliza un sistema de frenado regenerativo, lo que quiere decir que al frenar el vehículo el motor genera energía eléctrica que será regresada a las baterías, por lo que haciendo paradas espaciadas es posible ahorrar el 30 % de energía.

Sin embargo, las cargas y recargas de las baterías acortan su tiempo de vida, razón por la cual el vehículo llevara instalado un sistema de frenado hidroneumático que servirá de auxiliar al frenado eléctrico, con el propósito de reducir los ciclos de cargas y descargas de las baterías. El uso de los dos sistemas, hidroneumático y eléctrico es algo nuevo en la construcción de vehículos eléctricos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por otra parte, un grupo de ingenieros eléctricos de la facultad de ingeniería de la UNAM, trabaja en el desarrollo de un nuevo motor eléctrico, conocido como motor de 2 armaduras. Este prototipo, como su nombre lo indica y a diferencia de los motores convencionales, posee dos armaduras que interaccionan entre si, con un consumo de corriente menor; Sin embargo, la eficiencia hasta ahora obtenida aun es baja, señalo el ingeniero Víctor Pérez Amador, coordinador del proyecto, por lo que se sigue trabajando en la búsqueda de mejores resultados.

4.- Características del Vehículo (Chasis).- Para el diseño del chasis se consideraron dos factores principalmente: la máxima reducción del peso y mantener la rigidez y dureza de un chasis convencional. El Chasis fue diseñado para cumplir con las características mecánicas específicas de un minibus eléctrico de baterías.

Consiste en una estructura en forma de plataforma construida con materiales compuestos, que están formados en forma de sandwich cuyas tapas están hechas de fibra de vidrio orientadas en diferentes direcciones y embebidas en resina epóxica con espesor de 1mm.

Las tapas se encuentran separadas por un núcleo sumamente ligero hecho de papel fenólico impregnado de resina con geometría panal de abeja. El espesor total de la estructura es de 25mm. Y tiene una capacidad de carga distribuida de 6 toneladas y un peso aproximado de 80 Kg.

Unidad de tracción.- El motor de tracción seleccionado es de inducción y está alimentado por corriente alterna trifásica, que difiere de la mayoría de los motores usados en vehículos eléctricos que son de corriente directa.

Las ventajas del motor de inducción son:

Mayor eficiencia en la conversión de energía eléctrica a mecánica.

Poco mantenimiento y robustez

El minibus cuenta con 52 baterías de plomo-ácido que forman dos bancos independientes.

El inversor de corriente que originalmente fue diseñado para operar en maquina herramientas ha sido adoptado para su utilización en un vehículo eléctrico.

Con objeto de recuperar energía durante el frenado, el motor de tracción se convierte en generador porque envía energía eléctrica a las baterías para recargarlas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sistema hidroneumático.- El minibus cuenta con un sistema hidroneumático capaz de reducir la intensidad de la corriente de carga y descarga de las baterías y extender la vida de estas.

Dicho sistema utiliza una bomba hidráulica acoplada a la transmisión. Cuando se desea frenar, la bomba envía aceite a un acumulador hidroneumático y acciona un embolo que comprime un volumen de gas.

Después cuando se requiere acelerar, el gas comprimido se expande, se invierte el flujo de aceite y hace la bomba que opere ahora como motor hidráulico, asistiendo así al motor eléctrico. La aplicación de este sistema es única en vehículos eléctricos.

Sistema de control.- El sistema de control en el cual interactúan de la bomba hidráulica y el motor es gobernado por la señal del acumulador hidroneumático. El sistema bomba / motor funciona como una suma de desplazamientos.

La estrategia de control es simple. En la gráfica número 4 se muestra un diagrama idealizado mostrando como las fuerzas de tracción hidráulicas y eléctricas, varían con la señal V_0 , del pedal del acelerador (proporcional a la posición) o del pedal del freno (proporcional a la fuerza). Asumiendo que el acumulador no está completamente descargado al acelerar o completamente cargado al frenar. La fuerza de torsión eléctrica se incrementa en proporción V_0 , en tanto que los restos de la fuerza de torsión hidráulica son igual a cero.

La fuerza de torsión eléctrica alcanza al valor T_h cuando $V_0 = V_{c1}$. Un incremento marginal en V_0 causa que la fuerza de torsión eléctrica regrese a cero y la fuerza de torsión hidráulica se incremente a T_h .

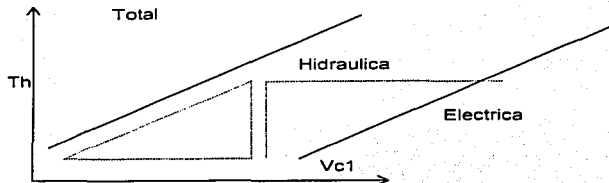
Como V_0 continúa incrementándose, la fuerza de torsión eléctrica se incrementa linealmente desde cero con la misma pendiente en el intervalo de $0 < V_0 < V_{c1}$ donde los remanentes de la fuerza de torsión hidráulica son iguales a T_h .

Si el acumulador está inicialmente descargado al acelerar o si alcanza el estado de carga completa al frenar, la fuerza de tracción hidráulica bomba / motor es removida y se incrementa en la misma magnitud que la fuerza de torsión eléctrica introducida.

Este paso en el torque es mostrado en la gráfica, claro que esta condición no es deseable.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Este cambio es suavizado por medio de válvulas de control en el circuito hidráulico



Gráfica IV.2.- Señal del Pedal Acelerador y el Pedal de Freno, Vc1.

Características generales :

Capacidad: 30 pasajeros.

Velocidad de cruce: 40 Km/h

Velocidad máxima: 60 Km/h

Aceleración inicial: 0.9 m/s²

Cero a 40 km/s: 14 s

Habilidad de pendiente (10%): 15 Km/s

Radio de viraje: 7.5 m

Autonomía: 100 Km/s

Banco de baterías: 52 baterías selladas de plomo-Ácido que proporcionan

160 amp-h a 228 volts CD

Potencia del motor de tracción: 50 kw (67 hp)

Peso total con carga: 6 T

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando se habla de vehículos eléctricos se hace imprescindible compararlos con los vehículos convencionales de combustión interna porque se considera que se habla de dos productos similares y erróneamente se cree que el motor eléctrico ocupa el mismo lugar que la máquina de combustión interna y que la batería toma el correspondiente del tanque de gasolina.

En los vehículos de combustión interna la potencia esta limitada por el tamaño del motor, mientras que en los vehículos eléctricos esta potencia está definida por las baterías; visto de otra manera el sistema de combustible proporciona gasolina al motor tan rápido como este la puede consumir.

Además cuando se carga el tanque, este recibe la gasolina a una velocidad enorme, del orden de los 20 l por minuto, que visto en términos de energía eléctrica equivale a 10 MW/h. Así, el concepto de potencia específica manejado para las baterías (potencia por unidad de masa) no tiene aplicación refiriéndolo a un tanque de gasolina. Por otra parte, los motores de combustión interna no almacenan energía, por lo que no pueden ser comparados con las baterías.

IV.10- Comparación entre un Vehículo Eléctrico y uno de Combustión Interna.

La tabla número 3 muestra las características de un sistema eléctrico y uno de combustión interna

Factores	Vehículos eléctricos	Vehículos de combustión interna
Control del combustible	0.087 dólares/kwh	47 dólares/litro
Eficiencia Energética	0.150 kwh / km	8 km / litro
Distancia con 9 dólares	740.7 km	151.5 jm
Distancia recorrida antes de recarga	80 – 120 km	450 – 500 km
Capaz de ir a 120 km / h	Si	Si

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Ruido	Silencioso	Varia
Impacto ambiental	No contamina baterías son 97% Reciclables (Pb) Ceroemisiones En el vehículo	Emite monóxido de carbono. Óxido de azufre y óxidos de Nitrogeno. Aceites usados, filtros Anticongelantes, inhibidores de corrosión, mangueras bujías. Conforme más antiguo Aumenta el nivel de contaminación.
Dependencia Energética	No depende de los combustibles fósiles	Utiliza únicamente combustibles fósiles.
Seguridad	Accidentes serios pueden causar derrame de ácido. Este puede ser neutralizado con agua sin peligro para las personas y el ambiente	Accidentes serios pueden Causar derrame de gasolina o fuego, aspectos que pueden dañar a personas y el ambiente

Tabla IV.19.- Comparación entre un Vehículo Eléctrico y uno de Combustión Interna.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV. 11.- Circuitos de Control.

El motor utilizado para el sistema de tracción de los vehículos eléctricos, es uno de los principales componentes del vehículo. Aunque la potencia esta dada básicamente por la capacidad de las baterías o por la capacidad de la celda (dependiendo del sistema utilizado), existen algunas variables que deben considerarse al elegir el tipo de motor a utilizar.

En los vehículos eléctricos no existe un tipo de motor específico para la tracción, pueden utilizarse tanto motores de C-D como C-A.

Existen algunos factores que deben tomarse en cuenta al momento de elegir el tipo de corriente que utilizara el motor ya que cada uno tiene sus ventajas y desventajas.

Si se opta por un motor de C-D tenemos la ventaja de poder controlarlo con mayor facilidad que si utilizamos uno de C-A, aunque existe la desventaja de que necesite un mayor mantenimiento además de que su precio es mayor.

Al utilizar un motor de C-A los dispositivos de control se vuelven más complejos ya que generalmente se utilizan motores trifásicos. La energía que se obtiene de los diferentes dispositivos generadores (baterías, celdas solares, o celdas de combustibles) proporcionan una corriente directa, por lo que es necesario contar con módulos convertidores para alimentar al motor de tracción. Además se necesitan otros módulos para controlar la velocidad del motor, los cuales con mas complicados que los de C-D.

Todos estos dispositivos además de consumir energía (que es proporcionada por los mismos dispositivos generadores) incrementan el costo del vehículo además de volverlo más susceptible a averías.

Los motores de C-D tienen características variables, su uso es extenso en los propulsores de velocidad variable. Los motores de C-D pueden proporcionar un alto par motor de arranque y también permiten obtener control de la velocidad en un amplio rango. Los métodos de control de la velocidad, por lo general son más simples y menos costosos que los de los propulsores de C-A.

Los motores de C-D que se utilizan en vehículos eléctricos generalmente son motores con conexión serie, ya que como se vera más adelante estos tienen un gran par a bajas velocidades.

Los motores de C-D se clasifican según como estén conectadas las bobinas de campo y la armadura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

También el momento de torsión o par desarrollado por un motor es producido por la fuerza debida a la interacción del campo magnético alrededor de las bobinas de la armadura con el campo principal. Por consiguiente, la magnitud del par desarrollado varia con la intensidad del campo principal y de la corriente de armadura.

IV.11.1.- Motor con Excitación en Serie.

El motor serie tiene su campo conectado en serie con la armadura y con carga. La bobina de campo consiste de unas cuantas vueltas de alambre grueso y puesto que toda la corriente de la armadura fluye por ella, la intensidad de campo varia en forma directa con la corriente de la armadura. A medida que la carga aumenta, el motor baja su velocidad y la FCEM (fuerza contra Electromotriz) decrece, lo cual permite que la corriente aumente y suministre un par mayor necesitado, incrementando la intensidad del campo y la corriente de la armadura.

El motor serie gira muy lento con cargas pesadas y muy rápido con cargas ligeras. Si se quita la carga por completo, el motor serie aumentara peligrosamente su velocidad y puede despedazarse, porque la corriente requerida es muy pequeña y el campo muy débil, de modo que el motor no puede girar lo suficientemente aprisa para generar la cantidad del FCEM necesaria para restaurar el balance, el motor serie nunca debe operar en condiciones sin carga y por consiguiente rara vez se usa con bandas motrices con las cuales la carga pueda eliminarse.

Los motores serie son motores de velocidad variable; esto es, que la velocidad cambia mucho cuando cambia la carga. Por esta razón los motores serie no se emplean cuando se requiere operación a velocidad constante. No se usan cuando la carga es intermitente (cuando la carga se aplica y sale mientras el motor esta en marcha).

El par (fuerza giratoria) producido por cualquier motor se C-D depende de la corriente de la armadura y la intensidad del campo. En el motor serie, la intensidad de campo depende de la corriente de la armadura, ya que la magnitud del par producido depende doblemente de la cantidad de corriente de la armadura fluyendo. Cuando la velocidad del motor es baja la FCEM también es baja y la corriente de la armadura es alta. Esto quiere decir que el par será muy alto cuando la velocidad del motor es baja o "0", por ejemplo, cuando el motor esta arrancando.

Entonces el motor serie tiene un par de arranque alto. A causa de este par de arranque alto, el motor serie de C-D no debe arrancar sin carga. Porque sino existe par de oposición en el arranque, el motor se acelerara furiosamente y tendrá una velocidad alta y peligrosa. La armadura puede desintegrarse con las bobinas y segmentos del conmutador despedazándose.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Existen trabajos especiales que requieren un par de arranque poderoso y la gran rapidez de aceleración que este par poderoso permite. Algunas máquinas que tienen estas características son las grúas, elevadores, trenes y trolebuses eléctricos, automóviles y autobuses. Los motores utilizados en estas máquinas normalmente son motores serie porque las cargas que manejan son muy pesadas en el arranque pero ligeras en el movimiento.

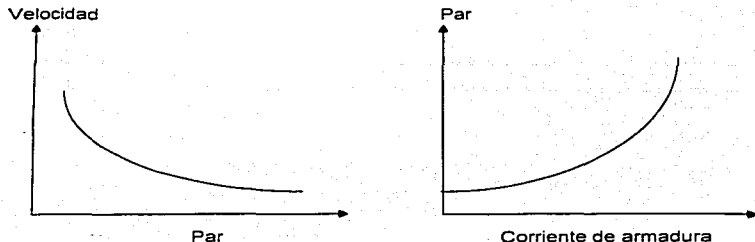
El campo del motor se conecta en serie con el circuito de la armadura. El circuito de campo se diseña de tal forma que pueda conducir la corriente de la armadura.

Conforme la demanda de par motor se reduce, aumenta la velocidad. La gráfica IV.3 muestra las características de los motores serie.

La dirección de rotación del motor serie depende de la dirección del flujo de corriente.

La corriente fluyendo por un conductor formará un campo magnético alrededor de este conductor. La dirección de este campo magnético se determina por la dirección del flujo de corriente. Si se coloca el conductor en un campo magnético se ejercerá una fuerza sobre el conductor a causa de la interacción de su campo magnético con el campo magnético principal. Esta fuerza causa que la armadura gire en cierta dirección entre los polos del campo.

Si se invierte la dirección del flujo de corriente por la armadura, se invertirá la rotación del motor.



Gráfica IV.3.- Modos de Operación de un Motor Serie.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la aplicación de velocidad variable, un motor de C-D puede operarse en uno o más modos: Como motor, como freno regenerativo, como freno dinámico, como freno invirtiendo rotación.

Como motor; la fuerza contraelectromotriz FCEM es menor que el voltaje de alimentación VT. Tanto la corriente de la armadura como la de la armadura son positivas. El motor desarrolla un par motor para cumplir con la demanda de la carga.

IV.11.2.- Freno Regenerativo.

La disposición para el frenado regenerativo, el motor actual como un regenerador y desarrolla un voltaje inducido "Eg".

"Eg" debe ser mayor que el voltaje de alimentación Va. La corriente de la armadura es negativa, pero la corriente del campo es positiva. La energía cinética del motor es devuelta a la alimentación.

Un motor serie es por lo general conectado en forma de generador autoexcitado. Para la autoexcitación es necesario que la corriente del campo ayude al flujo residual. Esto se obtiene normalmente mediante la inversión de las terminales de la armadura o las terminales del campo.

Freno dinámico. El circuito equivalente de este sistema es similar al de el frenado regenerativo, excepto porque el voltaje de alimentación V es remplazado por una resistencia de frenado Rb. La energía cinética del motor se disipa.

Frenado invirtiendo rotación. Las conexiones para el frenado invirtiendo rotación consisten en invertir las terminales de la armadura durante la operación. El voltaje de alimentación V y el voltaje inductivo Eg actual en la misma dirección. La corriente de la armadura se invierte, y produce por lo tanto un par de motor de frenado. La corriente de campo es positiva. En el caso de un motor serie deberán invertirse las terminales de la armadura o las del campo, pero no ambas.

IV.11.3 - Convertidores DC-DC.

En las aplicaciones de tracción es necesario convertir una fuente de C-D de voltaje fijo a una fuente de C-D de voltaje variable. Un pulsador de C-D, convierte directamente de C-D a C-D, por lo que también se conoce como convertidos de C-D a C-D. Un pulsador se puede considerar como el equivalente a un transformador de C-A con una relación de vueltas que varía en forma continua. Al igual que un transformador, puede utilizarse como una fuente de C-D a reductora o elevadora de voltaje.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

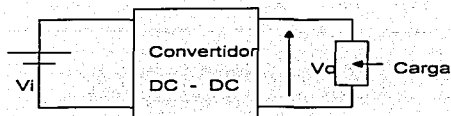


Figura IV.8.- Diagrama a Bloques de un Circuito Convertidor.

Los pulsadores se utilizan ampliamente en el control de los motores de tracción de automóviles eléctricos, trenes eléctricos, grúas marinas, montacargas y elevadores de minas. Proporcionan control en aceleraciones continuas, una alta eficiencia y una respuesta rápida dinámica. Los propulsadores se pueden utilizar en el freno regenerativo de motores de C-D para devolver la energía a la alimentación característica que da como resultado un ahorro en aquellos sistemas de transporte que tienen paradas frecuentes. Los pulsadores se utilizan en los reguladores de voltaje de C-D, y también, junto con una inductancia, para generar una fuente de C-D.

En la figura IV.9 aparece un pulsador de transistor. El voltaje promedio de salida se controla mediante la variación del tiempo de conducción t_c del transistor Q1. Si T es el periodo de corte.

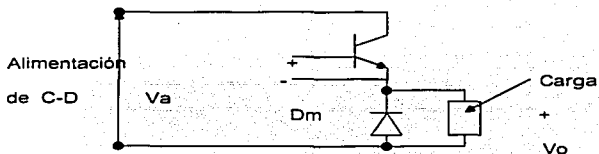
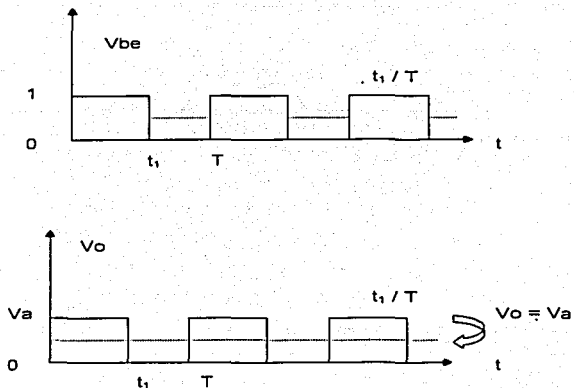


Figura IV.9.- Circuito Convertidor con Transistor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Y en la gráfica IV.4 sus formas de onda:



Gráfica IV.4.- Formas de Onda del Voltaje.

Clasificación de pulsadores.

El pulsador de reductor de la figura No. 50 solo permite que la potencia fluye de la fuente a la carga, conociéndose como un pulsador de clase A. Dependiendo de la dirección en la que fluyan la corriente y el voltaje, los pulsadores se pueden clasificar en tres tipos.

IV.11.14.- Pulsador de Clase "A".

La corriente de carga fluye hacia la carga. Tanto el voltaje V_L como la corriente I_L son positivos como se ve en la figura IV.10(a), éste es un pulsador de un solo cuadrante, nombrándosele operado como rectificador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

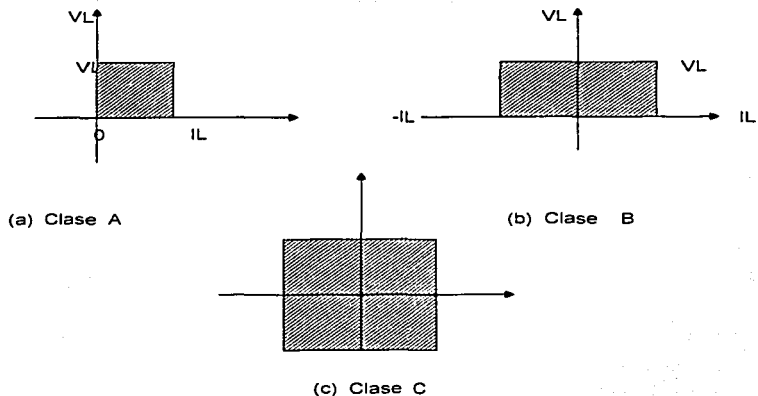


Figura IV.10.- Pulsador.

Pulsador clase B

Este se conoce como un pulsador de dos cuadrantes. Debe tenerse cuidado de no disparar los interruptores al mismo tiempo, de lo contrario la alimentación quedará en corto circuito (Fig. IV.11).

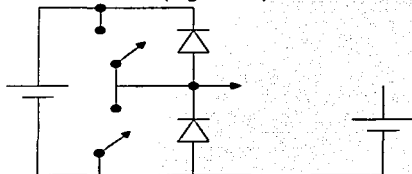


Figura IV.11.- El Pulsador Clase "B".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pulsador clase C.

La corriente de carga puede ser positiva o negativa. El voltaje en la carga también puede ser positivo o negativo. Este se conoce como un pulsador de 4 cuadrantes (Figura IV.11). Para operar en este cuarto cuadrante deberá invertirse la operación de la batería E. Este pulsador es la base del inversor monofásico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES.

En México, en opinión de fabricantes de estos autos, esto sería una alternativa que ayudaría a incrementar la demanda, lo que a su vez generaría mayor inversión para la investigación y desarrollo en partes, así como para la fabricación y construcción de estos prototipos.

Sin duda, habría que crear infraestructura destinada al suministro de energía eléctrica, pero ello solo cuando se cuente con una cantidad considerable de autos eléctricos en circulación. Por ahora y tal vez en los próximos 10 años, este problema esta resuelto, pues la recarga de las baterías puede efectuarse en cualquier contacto de corriente eléctrica. Cabe considerar que la velocidad promedio del tránsito en la ciudad de México es de 12 Km. Por hora, mientras que en el centro histórico se reduce a solo 6 Km. Por hora. Por ello, para lugares como estos, las velocidades hasta ahora alcanzadas por los prototipos ya probados resultan excelentes.

Algunos escépticos opinan que el problema de la contaminación no se revertirá con el uso del auto eléctrico, pues al generarse mayor corriente eléctrica las plantas termoeléctricas producirán más contaminantes. Para que eso suceda, según los fabricantes, tendría que haber más de 2 millones de vehículos eléctricos en circulación, y sin una previa plantación, situación que hasta ahora no se ha dado en las empresas con flotas considerables. Quedan además los recursos de las plantas hidroeléctricas y el aprovechamiento de celdas solares para generar corriente, y que al paso del tiempo va teniendo mejores resultados.

Un dato mas que ubica al auto eléctrico como una necesidad apremiante es el 88 % de la energía comercial consumida en el planeta se deriva de combustibles fósiles. En México asciende al 90 % y, según cálculos de especialistas, a la tasa actual de consumo de petróleo las reservas mundiales se agotaran en el año 2030, y en el 2054 las de gas natural.

Puesto que la ciudad de México es una de las más contaminadas en el mundo, el auto eléctrico ha despertado gran interés en empresarios, gobierno y la sociedad en su conjunto; en el programa integral de transporte del departamento del distrito federal ya se contempla la sustitución de autos privados, autobuses y combis por transporte colectivo eléctrico.

México ha desarrollado vehículos eléctricos desde 1970, pero la novedad surgió nuevamente y en 1992 se inicio la incorporación los autos eléctricos con fines de reparto por compañías que realizan esta actividad. Además, hay empresas de capital totalmente Mexicano que ya cuentan con los primeros prototipos de autos eléctricos con fines de reparto y de transporte colectivo. Asimismo, instituciones dedicadas a la investigación trabajan en el desarrollo y fabricación tanto de partes como de unidades de varios tipos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

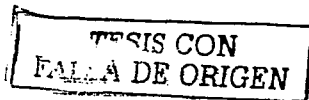
BIBLIOGRAFÍA.

- Abraham-Becker. (1990). Theory of Electricity. England: Addiso-Wesley.
- Edminister, L. (1995). Circuitos Eléctricos. México: Mc Graw-Hill. Serie Schaum's, 2ª edición.
- Frank, N. (1988). Introducción to Electricity and Optics. New York: Mc Graw-Hill.
- Gussow, M. (1983). Fundamentos de Electricidad. México: Mc Graw-Hill. Serie Schaum's.
- Harnewell, G. (1987). Principles of Electricity and Electromagnetism. New York: Mc Graw-Hill.
- Laws, F. (1978). Electrical Measurement. New York: Mc Graw-Hill.
- Lindsay and Margenau. (1987). Foundations of Physics. New Jersey: John Wiley & Sons.
- M.I.T. Electrical Engineering Department. (1998). Texts in Electrical Engineering (3 vols). Massachussets: John Wiley & Sons.
- Page and Adam. (1980). Principles of Electricity. New Jersey: Addison-Wesley.
- Ryder, D. (1992). Electrónica. Fundamentos y Aplicaciones. España: Aguilar.
- Sears, F. (1980). Electricidad y Magnetismo. Fundamentos de Física. Vol. II. España: Aguilar, 6ª reimpresion.
- Tokheim, K. (1998). Principios Digitales. México: Schahum's.
- Taylor, L. (1985). Physics. The Pioneer Science. Boston: Houston Mifflin.

FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

Introducción.....	01
Objetivo General.....	02
Objetivo Particular.....	02
CAPÍTULO I.- Conceptos Generales.....	03
I.1.- Microcontroladores.....	03
I.1.1.- Diferencia entre un Microcontrolador y un Microprocesador.....	04
I.1.2.- Recursos Comunes de los Microcontroladores.....	06
I.1.3.- Recursos Auxiliares.....	11
I.2.- Familias de PIC's.....	12
I.2.1.- Gama Miniatura.....	12
I.2.2.- Gama Baja.....	13
I.2.3.- Gama Media.....	15
I.2.4.- Gama Alta.....	16
I.3.- Recursos Comunes de los PIC's.....	18
I.3.1.- El Reloj y Frecuencia de Trabajo.....	18
I.3.2.- Circuito de Reset.....	22
I.4.- Descripción General del PIC 16F84.....	23
I.4.1.- Arquitectura Interna.....	26
CAPÍTULO II.- Generalidades sobre Tiristores.....	29
II.1.- Introducción.....	29
II.2.- Definición y Terminales del SCR.....	30
II.3.- Estados de Trabajo del SCR.....	31
II.4.- Modelo de los Transistores.....	32
II.5.- Curva Característica del SCR.....	34
II.6.- Características de Puerta.....	35
II.7.- Métodos de Disparo.....	36
II.8.- Tiempo de Encendido del SCR.....	37
II.9.- Tiempo de Apagado del SCR.....	38
II.10.- Teoría de Operación del SCR.....	38
II.11.- Disparo del SCR.....	38
II.12.- Métodos de Apagado de un SCR.....	40
II.13.- Pendiente de Tensión, dv/dt	42
II.14.- Pendiente de Corriente, di/dt	42
II.15.- Influencia de la Temperatura.....	43
II.16.- Potencia Disipada.....	44
II.17.- Encapsulado del SCR.....	45
II.18.- Teoría General del SCR.....	45
II.19.- Introducción al TRIAC.....	46
II.20.- Definición y Terminales del TRIAC.....	47
II.21.- Funcionamiento del TRIAC.....	49
II.22.- Curva Característica del TRIAC.....	49



II.23.- Características de Puerta del TRIAC.....	50
II.24.- Cuadrantes de Polarización.....	51
II.25.- Disparo y Bloqueo del TRIAC.....	52
II.26.- La dv/dt en los TRIAC's según sus Condiciones de Operación.....	53
II.27.- La dv/dt en los TRIAC's.....	54
II.28.- Encapsulado del TRIAC.....	54
II.29.- Elementos de Disparo del SCR y del TRIAC's.....	55
II.30.- El DIAC.....	56
II.31.- El SBS.....	56
II.32.- El SUS.....	57
II.33.- El Diodo SHOCKLEY.....	58
II.34.- El UJT.....	58

CAPITULO III.- Sistema de Control Basado en Circuitos Integrados..... 60

III.1.- Introducción.....	60
III.2.- Organización de la Memoria.....	60
III.3.- Memoria de Datos.....	60
III.3.1.- Direccionamiento de la Memoria de Datos.....	62
III.3.2.- Memoria de Programa.....	65
III.3.3.- El Contador de Programa, Pila y Registros PCL y PCLATH.....	66
III.3.4.- Memoria EEPROM de Datos.....	69
III.3.5.- Registros de Configuración y Control.....	71
III.4.- Puerto "A" y Tris "A".....	76
III.5.- Puerto "B" y Tris "B".....	80
III.5.1.- La Palabra de Configuración.....	86
III.5.2.- Temporización.....	88
III.5.3.- Interrupciones y Reset.....	91
III.5.4.- Causas de Interrupción.....	93
III.5.5.- Interrupción Externa INT.....	94
III.5.6.- Interrupción por el Desbordamiento del TMRO.....	95
III.5.7.- Interrupción por Cambio de Estado de una de las Terminales <RB7:RB4> del PUERTO "B".....	95
III.5.8.- Interrupción por Finalización de la Escritura en la EEPROM de Datos.....	95
III.5.9.- Causas de Reinicialización o "Reset".....	96
III.6.- Temporizador.....	96
III.7.- Repertorio de Instrucciones.....	100

CAPITULO IV.- Diseño del Vehículo..... 115

IV.1.- Introducción.....	115
IV.2.- Componentes del Vehículo Eléctrico.....	119
IV.3.- Parámetros del Vehículo Eléctrico.....	120
IV.3.1.- Eficiencia.....	121
IV.3.2.- Velocidad de los Vehículos Eléctricos.....	123
IV.3.3.- Tipos de Baterías.....	124
IV.3.4.- Reciclaje de Baterías.....	127

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3.5.- Clasificación de Baterías.....	127
IV.3.6.- Capacidad Normal en Amperes-Hora.....	128
IV.3.7.- Condición de Carga.....	128
IV.3.8.- Gravedad Específica.....	128
IV.3.9.- Acción de la Celda de Plomo.....	129
IV.3.10.- Carga de la Batería.....	129
IV.3.11.- Capacidad Normal de Carga.....	130
IV.3.12.- Corriente de Carga.....	130
IV.3.13.- Sistemas de Carga.....	130
IV.3.14.- Pérdida de Densidad por Autodescarga.....	131
IV.3.15.- Tiempo de Carga.....	132
IV.3.16.- Número de Baterías Utilizadas.....	132
IV.3.17.- Contaminación Generada por la Electricidad.....	133
IV.3.18.- Riesgo de Accidente.....	133
IV.4.- Panorama del Vehículo Eléctrico en México.....	134
IV.5.- Datos Económicos del Proyecto.....	134
IV.5.1.- Proveedores.....	135
IV.5.2.- Precauciones y Seguridad.....	137
IV.5.3.- Instalación del Módulo.....	137
IV.6.- Costos de los Aditamentos.....	141
IV.7.- Pruebas Realizadas a los Paneles del Sistema.....	145
IV.8.- Respuestas del Sistema.....	156
IV.8.1.- Prueba de la Fuente con un Foco de 150 Watts de 120 Volts y Tres de 40 Watts de 12 Volts.....	156
IV.8.2.- Prueba de la Fuente de Energía Eléctrica.....	157
IV.8.3.- Prueba de la Fuente de Corriente Eléctrica.....	158
IV.9.- Panorama del Vehículo Eléctrico en México.....	160
IV.10.- Comparación entre un Vehículo Eléctrico y uno de Combustión Interna.....	167
IV.11.- Circuitos de Control.....	169
IV.11.1.- Motor con Excitación en Serie.....	170
IV.11.2.- Freno Regenerativo.....	172
IV.11.3.- Convertidores C-D a C-D.....	172
IV.11.4.- Clasificación de Pulsadores.....	174
Conclusiones.....	177
Bibliografía.....	178
Índice.....	179

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN