

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

“DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE RELÉ DE ESTADO SÓLIDO MICROCONTROLADO SUPERVISOR DE VOLTAJE TRIFÁSICO PARA PROTECCIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS DE BAJA POTENCIA”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

MÓNICA JANETH AVILA CHISAGUANO

DIRECTOR: INGENIERO GERMÁN CASTRO MACANCELA

Quito, Abril 2005

DECLARACIÓN

Yo, Mónica Janeth Avila Chisaguano, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

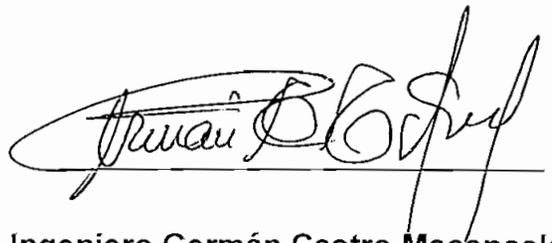
A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Mónica J. Avila Chisaguano'.

MÓNICA J. AVILA CHISAGUANO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mónica Janeth Avila Chisaguano, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Germán Castro Macancela', written over a horizontal line.

Ingeniero Germán Castro Macancela

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mi padre Jehová, por darme la fortaleza necesaria en todo tiempo, a Jorge E., Martha y Jorge L. las tres personas más importantes de mi vida, quienes me han apoyado para cumplir este y otros objetivos en mi vida, al Ingeniero Germán Castro por su confianza puesta en mí para la realización de este proyecto, a los ingenieros de la carrera quienes de igual manera aportaron con sus conocimientos y a los verdaderos amigos que supieron escucharme y alentarme para salir adelante. Gracias a todos ustedes. Que Dios les bendiga.

Mónica J. Avila

DEDICATORIA

A Dios, mi familia y a mi hermana que ya no está aquí.

Mónica J. Avila

CONTENIDO

CONTENIDO	I
RESUMEN	X
PRESENTACIÓN	XII

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1	Introducción	1
1.2	Protecciones eléctricas en baja tensión	1
1.2.1	Fallas comunes en redes de baja tensión	2
1.2.2	Tipos de protecciones	4
1.3	Contactores	9
1.4	Relés	10
1.4.1	Tipos de relés	10
1.4.2	Comparación de relés electromecánicos y de estado sólido	11
1.4.2.1	Características de operación de los relés	11
1.4.2.2	Ventajas y desventajas de los relés	15
1.5	Semiconductores de conmutación	17
1.5.1	Ventajas de la utilización de semiconductores de potencia	17
1.5.2	Tiristores	18
1.5.3	Interruptores estáticos	19
1.6	Comunicación serial	21
1.7	Microcontroladores	22
1.8	Display de cristal líquido LCD	24
1.9	Características de una interfase de usuario	26
1.9.1	Programación en Visual Basic 6.0	26

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL RESM

2.1	Introducción	28
2.2	Funciones del prototipo Relé de Estado Sólido Microcontrolado RESM	28
2.3	Diseño del sistema de control	29
2.3.1	Fuentes reguladas y respaldo de batería	31
2.3.2	Rectificador por fase para detectar las variaciones del voltaje de alimentación	38
2.3.3	Acondicionamiento y protección	46
2.3.4	Control	54
2.3.5	Acoplamiento de señales de activado	61
2.3.6	Potencia. interruptores estáticos	61
2.3.7	Protecciones	65

CAPÍTULO 3

SOFTWARE DE CONTROL

3.1	Introducción	66
3.2	Desarrollo del software	67
3.2.1	Inicialización de registros y mensaje inicial	75
3.2.2	Rutina principal	83
3.2.3	Rutina de interrupciones	110
3.2.4	Subrutinas generales	122

3.3	Desarrollo de la interfase de usuario mediante Visual Basic	123
3.3.1	Software en PC para el control del RESM	124

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Introducción	142
4.2	Condiciones iniciales para pruebas	143
4.3	Confiabilidad en los límites	145
4.3.1	Análisis de la desconexión en los límites	145
4.3.2	Análisis de la conexión en los límites	153
4.3.3	Definición de la exactitud o tolerancia equivalente en los límites del rango de control	160
4.4	Transmisión de datos	161

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	165
5.2	Recomendaciones	168

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXO A	Imágenes del equipo	A1-A7
ANEXO B	Manual de operación	
	Introducción	B1
	Manual de Usuario	B2-B11
	Guía de Mantenimiento	B12-B22
ANEXO C	Hojas técnicas	
	Microcontrolador PIC16F877	C1-C5
	SCR S8035K	C6-C11
	Optotransistor 4N25	C12-C16
	Optotriac MOC3021	C17-C20
	Puente Rectificador W06M	C21-C22
ANEXO D	Ruteados tarjetas electrónicas	D1-D4

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Curva típica de interrupción de un fusible

Figura 1.2 Tabla de Fusión

Figura 1.3 Estructura del Interruptor Automático

Figura 1.4 Ejemplo de funcionamiento de un interruptor diferencial

Figura 1.5 Diagrama en bloque de UPS

Figura 1.6 Circuito tiristor y características $v - i$

Figura 1.7 Interruptor monofásico de AC

Figura 1.8 Diagrama de pines del Microcontrolador PIC 16F877

Figura 2.1 Diagrama de bloques RESM

Figura 2.2 Diagrama de bloques fuentes reguladas y respaldo de batería

Figura 2.3 Circuito fuentes reguladas y respaldo de batería

Figura 2.4 Diagrama de bloques rectificador

Figura 2.5 Circuito rectificador

Figura 2.6 Circuito equivalente DC

Figura 2.7 Circuito equivalente AC

Figura 2.8 Picos de corriente en AC

Figura 2.9 Diagrama de bloques acondicionamiento y protección

Figura 2.10 Diagrama de bloques voltaje de fase

Figura 2.11 Circuito de acondicionamiento voltaje de fase

Figura 2.12 Diagrama de bloques sobrevoltajes y picos

Figura 2.13 Circuito sobrevoltajes y picos

Figura 2.14 Diagrama de bloques falta de fase

Figura 2.15 Circuito falta de fase

Figura 2.16 Diagrama de bloques para el control

Figura 2.17 Circuito básico de control. Entradas y salidas

Figura 2.18 Circuito salidas digitales

Figura 2.19 Circuito configuración de operación y visualización

Figura 2.20 Circuito LCD

Figura 2.21 Circuito comunicación serial

Figura 2.22 Diagrama de bloques acoplamiento de señal

Figura 2.23 Diagrama de bloques potencia

Figura 2.24 Circuito acoplamiento de señales y potencia

- Figura 3.1 Distribución del programa completo en la memoria de programa
- Figura 3.2 Diagrama de bloques del programa completo. Inicialización, rutina principal e interrupciones
- Figura 3.3 Diagrama de flujo subrutina de escritura al LCD
- Figura 3.4 Diagrama de flujo inicialización y mensaje inicial
- Figura 3.5 Diagrama de flujo rango de control
- Figura 3.6 Diagrama de flujo voltajes de fase
- Figura 3.7 Diagrama de flujo análisis fuera de rango
- Figura 3.8 Diagrama de flujo falla de red
- Figura 3.9 Diagrama de flujo pulsante ONOFF
- Figura 3.10 Diagrama de flujo pulsante OPCIONES
- Figura 3.11 Diagrama de flujo voltaje fase R
- Figura 3.12 Diagrama de flujo voltaje fase S
- Figura 3.13 Diagrama de flujo voltaje fase T
- Figura 3.14 Diagrama de flujo set point de voltaje
- Figura 3.15 Diagrama de flujo set point de tolerancia
- Figura 3.16 Diagrama de flujo rango de voltaje
- Figura 3.17 Diagrama de flujo memoria de datos
- Figura 3.18 Diagrama de flujo modo de reconexión
- Figura 3.19 Diagrama de flujo descarga de datos
- Figura 3.20 Diagrama de flujo interrupciones, inicio
- Figura 3.21 Diagrama de flujo decodificación de interrupciones
- Figura 3.22 Diagrama de flujo interrupción externa
- Figura 3.23 Diagrama de flujo interrupción Timer1

Figura 3.24 Diagrama de flujo interrupción serial

Figura 3.25 Diagrama de flujo subrutina transformar de real a digital

Figura 3.26 Diagrama de flujo subrutina transformar2 de digital a real

Figura 3.27 Acceso directo a la aplicación

Figura 3.28 Pantalla clave de acceso

Figura 3.29 Pantalla de presentación

Figura 3.30 Pantalla de menú principal

Figura 3.31 Pantalla DATOS POR RECIBIR

Figura 3.32 Pantalla DATOS POR ENVIAR

Figura 3.33 Pantalla ERROR DATO SPV

Figura 3.34 Pantalla ERROR DATO SPT

Figura 3.35 Pantalla INTERRUPTORES ESTÁTICOS

Figura 3.36 Pantalla BASE DE DATOS

Figura 3.37 Eventos registrados en Excel

Figura 3.38 Pantalla DESCARGA COMPLETA

Figura 3.39 Pantalla NO HAY DATOS POR DESCARGAR

Figura 3.40 Pantalla Información RESM

Figura 3.41 Pantalla SOFTWARE DE APLICACIÓN

Figura 4.1 Conexión de equipos para pruebas

Figura 4.2 Voltaje y corriente de salida para una carga resistiva a $120 V_{in}$

Figura 4.3 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 115 V

Figura 4.4 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 125 V

Figura 4.5 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 100 V

Figura 4.6 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 130 V

Figura 4.7 Curva de dispersión para establecer la tolerancia en el límite de 117 V

Figura 4.8 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 137 V

Figura 4.9 Curva de dispersión para establecer la exactitud en la desconexión

Figura 4.10 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 115 V

Figura 4.11 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 125 V

Figura 4.12 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 100 V

Figura 4.13 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 130 V

Figura 4.14 Curva de dispersión para establecer la tolerancia en el límite de 117 V

Figura 4.15 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 137 V

Figura 4.16 Curva de dispersión para establecer la exactitud en la conexión

Figura 4.17 Interpretación gráfica de los valores de la tabla 4.16

Figura 4.18 Fallas transmitidas a la hoja de Excel del HMI

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Terminología equivalente para relés electromecánicos y de estado sólido

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de los relés electromecánicos y de estado sólido

Tabla 1.3 Distribución de pines del LCD 2 x 16

Tabla 3.1 Denominación de registros auxiliares y su ubicación en la memoria de datos

Tabla 3.2 Asignación de banderas

Tabla 3.3 Configuración de puertos. Entradas y salidas

Tabla 3.4 Configuración de SFR's

Tabla 3.5 Configuración de registros auxiliares

Tabla 3.6 Instrucciones para el modo de trabajo del módulo LCD

Tabla 3.7 Codificación para las fallas de red

Tabla 3.8 Protocolo de comunicación entre RESM y PC

Tabla 4.1 Valores medidos a partir de la gráfica de la figura 4.2

Tabla 4.2 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 115 V

Tabla 4.3 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 125 V

Tabla 4.4 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 100 V

Tabla 4.5 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 130 V

Tabla 4.6 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 117 V

Tabla 4.7 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 137 V

Tabla 4.8 Resumen de los valores de exactitud de los límites analizados para desconexión

Tabla 4.9 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 115 V

Tabla 4.10 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 125 V

Tabla 4.11 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 100 V

Tabla 4.12 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 130 V

Tabla 4.13 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 117 V

Tabla 4.14 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 137 V

Tabla 4.15 Resumen de los valores de exactitud de los límites analizados para conexión

Tabla 4.16 Resumen de los valores de exactitud de los límites analizados para conexión y desconexión

Tabla 4.17 Fallas generadas

RESUMEN

El presente trabajo de tesis está orientado al diseño y construcción de un prototipo de Relé de Estado Sólido Microcontrolado RESM, supervisor de voltajes de un sistema trifásico para protección de cargas eléctricas de baja potencia, manejando un consumo de corriente no mayor a 15 A en condiciones normales de trabajo.

La función del prototipo a construir es la conexión y desconexión manual de la carga trifásica a la fuente a través de elementos de estado sólido. En caso de detectarse fallas, como voltajes fuera de un rango establecido, sobrevoltajes o falta de fases, la desconexión es automática, permitiendo realizar una conexión posterior si se restablecen las condiciones de trabajo.

El RESM dispone de entradas analógicas mediante las cuales se supervisan constantemente la red trifásica, determinando si el voltaje se encuentra dentro de la banda de seguridad ingresada por el usuario; al no encontrarse dentro de este rango, los interruptores de estado sólido desconectan la carga de la fuente. Además posee una entrada adicional para detectar falta de fase, sobrevoltaje o un pico súbito de voltaje, que abre de manera rápida los interruptores independientemente de la banda de seguridad, pues estos casos son críticos.

El RESM permite interactuar con el usuario mediante una interfase propia del prototipo y otra, mediante un computador personal. La interfase del prototipo está conformada por un visualizador de mensajes, leds indicadores de eventos y opciones de programación a través de botones pulsadores. La interfase en el computador, elaborada bajo el programa Visual Basic y comunicada con el prototipo mediante el protocolo RS232, recibe los eventos almacenados y las variables a las cuales controla el RESM para elaborar bases de datos y llevar un registro del estado de la red de alimentación y a la vez, envía valores al prototipo para establecer el rango de control.

El diseño del RESM consta de un hardware y un software. El hardware está formado por las tarjetas de control, potencia, interfase con el usuario y fuentes de polarización que incluye un respaldo de batería, con sus respectivas protecciones. El software elaborado tanto en el microcontrolador como para la interfase con el computador. El análisis, diseño y construcción del RESM se describen en los siguientes capítulos.

El capítulo 1 expone la teoría de los dispositivos de protección eléctrica, sus características generales y funcionamiento haciendo referencia especial a las protecciones en base a elementos electromecánicos y de estado sólido.

El capítulo 2 detalla el diseño y la implementación del RESM, indicando las partes constitutivas, los esquemas de cada uno de los circuitos y las protecciones.

El capítulo 3 presenta el software a ser ejecutado por el microcontrolador conformado por el programa principal, rutinas e interrupciones para el funcionamiento del prototipo; además se describe el software de aplicación del computador que interactúa con el RESM en la transmisión y recepción de datos.

El capítulo 4 presenta los resultados experimentales del prototipo con el respectivo análisis, realizados en el laboratorio bajo todas las condiciones de falla que debe detectar.

Finalmente el capítulo 5 contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la experiencia del diseño e implementación del prototipo RESM.

PRESENTACIÓN

El sistema de distribución eléctrica en baja tensión, pretende proveer energía de calidad a fin de cubrir las necesidades de los consumidores a nivel domiciliario e industrial. Sin embargo, como todo sistema, no está exento a las perturbaciones propias o las generadas por agentes externos, por lo que esta energía puede verse afectada por múltiples fallas que desencadenen en daños o deterioros consecuentes a todo tipo de carga conectada a una red de alimentación.

En la actualidad se han desarrollado dispositivos de protección eléctrica, cada uno eficiente y competente, que disminuyen convenientemente el efecto negativo de una falla transitoria o permanente en la energía eléctrica.

La realización del presente proyecto se justifica por la necesidad de encontrar nuevas soluciones o mejorar las existentes, orientado a la prevención de un mal funcionamiento o destrucción de un equipo, maquinaria o artefacto que requiere de electricidad para trabajar.

El prototipo basado en un control ON-OFF que incorpora un elemento inteligente como es el microcontrolador, busca dar un paso más en el desarrollo de un sistema completo de protección eléctrica, logrando mejores características de control y rapidez de respuesta, que garanticen seguridad a todo tipo de carga.

Por último el prototipo presenta la facilidad de ser ampliado tanto en hardware como en software, con el propósito de integrar el control de corrientes e incrementar las funciones y los beneficios que pueda proporcionar.

CAPÍTULO 1

Generalidades

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de obtener el prototipo de Relé de Estado Sólido Microcontrolado RESM para supervisar voltajes trifásicos se realiza un análisis previo de los sistemas de protección eléctrica existentes y en particular de los conformados por elementos electromecánicos para comparar sus características con las que ofrecen las protecciones en base a dispositivos de estado sólido.

1.2 PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN

La seguridad en un instalación eléctrica tiene por objeto establecer las condiciones técnicas que debe reunir dicha instalación conectada a una fuente de suministro de baja tensión con la finalidad de:

1. Preservar la seguridad de las personas y los bienes.
2. Asegurar el normal funcionamiento de la instalación y prevenir las perturbaciones presentes en la red.
3. Contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.

Los objetivos fundamentales de los dispositivos de protección en una instalación eléctrica ante la presencia de fallas en la red o disturbios eléctricos, son:

- Eliminar errores de operación.
- Cuidar la inversión en los equipos instalados.
- Evitar la pérdida de información y datos.

- Eliminar paradas de procesos industriales.
- Prevenir daños leves o permanentes.

1.2.1 FALLAS COMUNES EN REDES DE BAJA TENSIÓN

Las fallas que se pueden presentar son múltiples y es necesario conocer su origen y características para establecer la protección adecuada. Tales fallas pueden ser una sobrecarga, un cortocircuito franco, un sobrevoltaje, picos súbitos de voltaje o un voltaje totalmente nulo, entre otras.

Sobrecargas ($I < 10I_n$)

Las sobrecargas son corrientes mayores al flujo nominal confinadas a la trayectoria normal de circulación de corriente y pueden causar sobrecalentamiento del conductor si continúan circulando.¹ Una sobrecarga se produce debido a un defecto de aislamiento, una anomalía en la red (ausencia de fase, tensión fuera de tolerancias, etc.), una avería, una demanda excesiva de la carga conectada a un motor eléctrico o a una falla propia del motor.

Cortocircuito ($I > 50I_n$)

Se da por la unión de dos conductores o partes de un circuito eléctrico con una diferencia de potencial o tensión entre sí sin ninguna impedancia eléctrica entre ellos; este efecto hace que la corriente aumente a valores muy altos con lo que peligran la integridad de conductores y máquinas debido al calor generado por dicha corriente cuyo valor está fuera de rangos normales. El cortocircuito tiene tres efectos: el Arco Eléctrico que quema todo lo que se encuentre en su trayectoria, el Calentamiento de los conductores a temperaturas que podrían iniciar el fuego de algunos materiales adyacentes y Esfuerzos magnéticos, puesto que el campo magnético se incrementa por la circulación de la corriente de cortocircuito.

¹ Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales. Enríquez Harper

Caída de Tensión Sostenida (Undervoltage)

Los voltajes bajos en la red eléctrica son perjudiciales y pueden apreciarse en una reducción en el nivel de iluminación de lámparas incandescentes. Esta falla por ejemplo puede mantenerse por períodos largos de minutos, horas y hasta días.

Subida de Tensión o Sobrevoltaje (Overvoltage)

Es un incremento en el voltaje de menor intensidad que un pico. Se producen cuando se apagan equipos que consumen una gran cantidad de energía.

Cortes de Energía o Apagones (Blackout)

Es la pérdida total del suministro eléctrico. Puede ser causado por diversos eventos: relámpagos, fallas de las líneas de energía, exceso de demandas, accidentes y desastres naturales.

Caídas de Voltaje Momentáneo o Microcortes (Sag)

Es una caída momentánea en el voltaje generada por el arranque de grandes cargas como ascensores, motores y compresores, encendido de maquinaria pesada, fallas de equipos.

Picos de Tensión o Alto Voltaje Momentáneo (Surge)

Un pico es un incremento brusco del voltaje. Los picos pueden ser producidos por una rápida reducción de las cargas, por relámpagos que afectan alguna parte de la red de alimentación, cuando una central de energía vuelve a funcionar después de un apagón o por equipos defectuosos conectados en la línea.²

² <http://library.abb.com>

Micropicos o valles

Son caídas de tensión bruscas que duran microsegundos o menos.

1.2.2 TIPOS DE PROTECCIONES

A continuación se describen varios dispositivos de protección para ser adaptados convenientemente a una aplicación específica.

Fusibles o cortacircuitos

Un fusible es una protección contra sobrecorrientes, constituido por una parte activa (hilo o lámina de un metal) de bajo punto de fusión que se intercala en una posición específica de la instalación eléctrica, para que se funda por Efecto Joule cuando la corriente supere un determinado valor como consecuencia de un cortocircuito o un exceso de carga y con el que puede peligrar los conductores dando lugar a un posible incendio o destrucción de otros elementos.

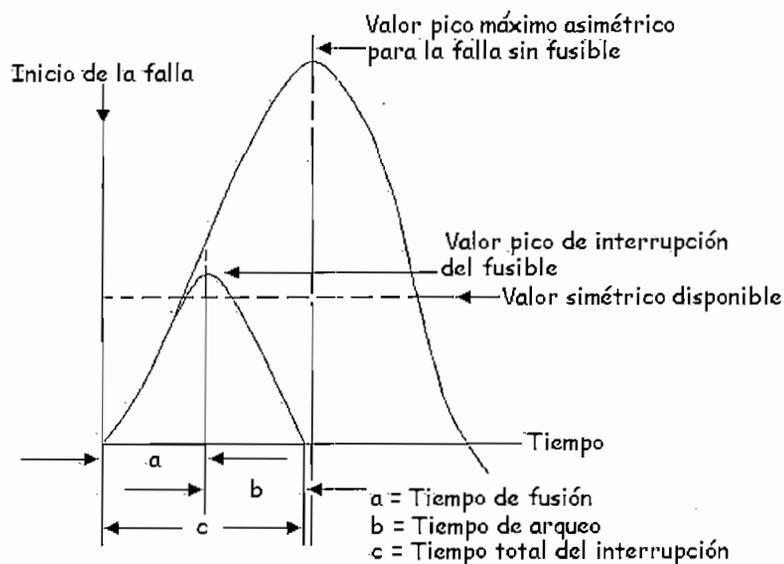


Figura 1.1 Curva típica de interrupción de un fusible³

³ Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales. Enríquez Harper

Hay tres tipos básicos de fusibles: rápidos, lentos y de acompañamiento, conforme a la velocidad de fusión de la parte activa y de las características de la instalación a proteger. Los fusibles lentos (Tardofus, gT) funden en un segundo para una corriente $I = 5 I_f$. Los fusibles rápidos (Instanfus, gF) funden en un segundo para $I = 2,5 I_f$. Los de acompañamiento (Contanfus, aM) para protección de motores funden en un segundo para $I = 8 I_f$.

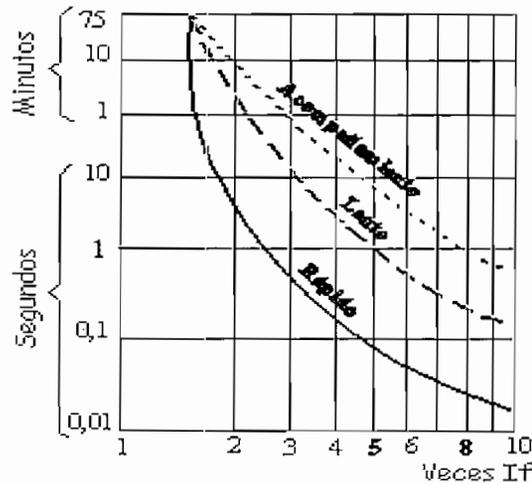


Figura 1.2 Tabla de Fusión

Interruptores automáticos, magneto-térmicos

Estos interruptores tienen una combinación de disparo magnético y térmico; operan con un retardo en el tiempo para valores de sobrecorriente no muy altos y actúan para cortocircuitos acorde a las curvas características de disparo magnético.

El desconectador magnético formado por una bobina actúa sobre un contacto móvil cuando la atraviesa la corriente nominal, este elemento es la protección contra cortocircuitos debido a la rapidez en su funcionamiento, puede rearmarse en forma manual o eléctrica. El desconectador térmico está formado por una lámina bimetálica que se dobla por calentamiento al ser atravesada por un exceso de corriente, siendo ésta la protección contra sobrecargas de tal manera que la velocidad de desconexión

es inversamente proporcional a la sobrecarga. Sus componentes se indican en la figura 1.3.

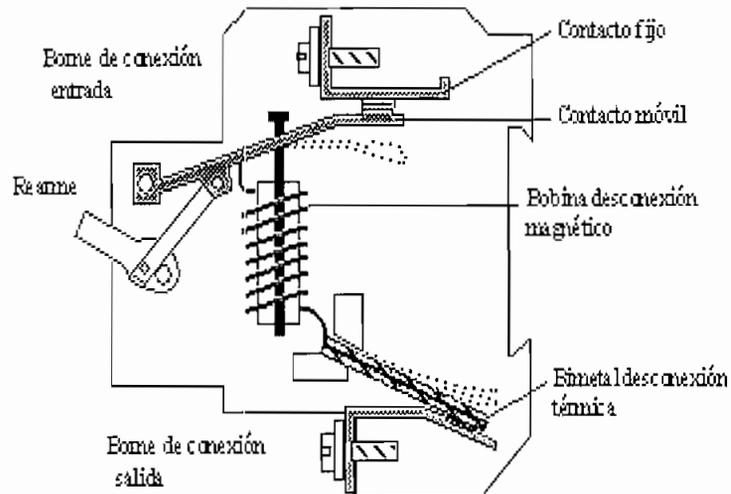


Figura 1.3 Estructura del Interruptor Automático

Interruptores diferenciales

El interruptor diferencial está diseñado para operar cuando circule una corriente mayor a un valor preestablecido en alguna parte de la instalación.

Detecta la diferencia entre la corriente absorbida por la carga y la de retorno. Cuando esta diferencia supera un valor por lo general de 30 mA el dispositivo abre el circuito.

Consta de un transformador toroidal en que el primario está formado por todas las fases y el neutro que atraviesan el núcleo y el secundario está formado por una pequeña bobina. El arrollamiento del secundario se conecta a un relé que actúa sobre el mecanismo de desconexión del interruptor.

Mientras no existan derivaciones a tierra o corrientes de defecto (I_d) en la instalación, la suma geométrica de las intensidades que circulan por los conductores es cero ($I_d = 0$) y el interruptor permanece cerrado. Caso contrario, si se presenta una derivación a tierra de una fase hay una corriente de defecto o fuga (I_d) que induce una corriente

en el secundario del transformador; si la corriente de defecto (I_d) es igual o mayor que la sensibilidad del interruptor (I_s) el mecanismo de desconexión abre el interruptor.

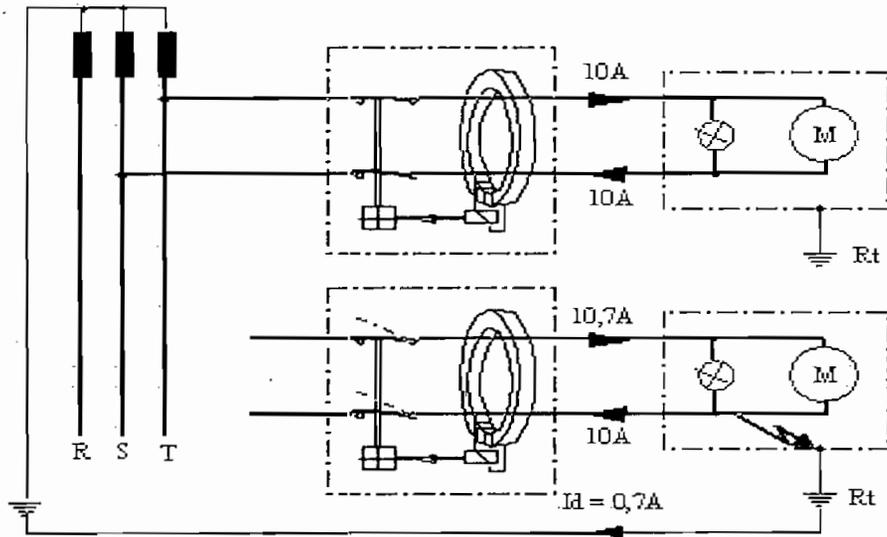


Figura 1.4 Ejemplo de funcionamiento de un interruptor diferencial

Supresor de picos

Casi todos los supresores de picos operan como circuitos en paralelo, el voltaje en exceso se desvía hacia este circuito suprimiendo así el voltaje al nivel especificado por el elemento sin interrumpir la alimentación a las cargas. Los varistores de óxido de metal (MOV's) consiguen este efecto y equivalen a dos diodos Zener opuestos con una gran tensión de ruptura en ambas direcciones (conexión back to back). Se emplean también supresores como circuitos en serie reteniendo el exceso de energía, tal es el caso de los supresores con capacitores para las instalaciones eléctricas que no poseen conexión a tierra física o si se requiere una respuesta más rápida ante las variaciones de corriente.

El tiempo de respuesta es menor a los 20 ns, absorben el transitorio en el instante que ocurre y poseen un alto grado de aislamiento.

Acondicionadores de línea y UPS

Los acondicionadores de línea regular tanto los sobrevoltajes como los subvoltajes, para suministrar a las cargas una alimentación en alterna de valor nominal con tolerancias específicas. Los UPS's evitan un corte total en el suministro de energía y controlan el voltaje haciendo uso de la energía de las baterías de respaldo cuando el voltaje de la línea de suministro excede los límites preestablecidos o la misma es nula. Un UPS se compone de una serie de baterías, un cargador de batería y un inversor de energía eléctrica. Las funciones de cada uno son las siguientes:

- El inversor convierte el voltaje de corriente directa de bajo nivel de las baterías en el voltaje de AC normalmente suministrado por la línea de alimentación eléctrica.
- El cargador de batería está diseñado para mantener las baterías en condiciones óptimas durante los períodos en que el sistema de línea de alimentación eléctrica está funcionando normalmente.
- Las baterías cuanto más grandes son, mayor será el tiempo que pueda suministrar energía un UPS durante los cortes de energía.⁴

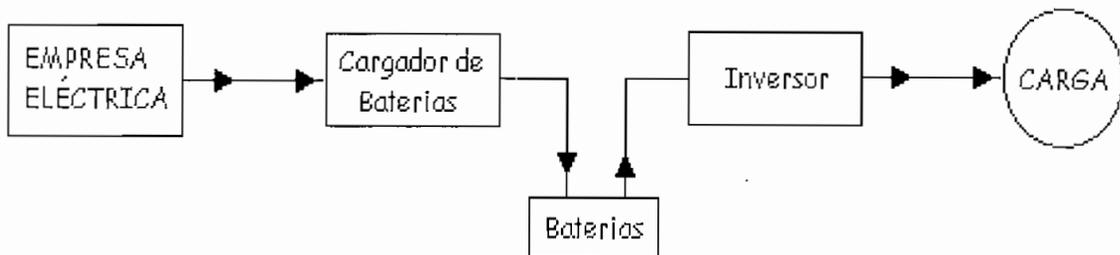


Figura 1.5 Diagrama en bloque de UPS

⁴ Hojas técnicas de Firmesa Industrial

1.3 CONTACTORES

Son dispositivos mecánicos que permiten la conexión y desconexión eléctrica, accionados por cualquier forma de energía, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito incluso las de sobrecarga.

Las energías utilizadas para accionar un contactor pueden ser: mecánicas, magnéticas, neumáticas, hidráulicas, etc. Los contactores utilizados en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina.

Las características importantes de un contactor son la tensión a aplicar a la bobina de accionamiento así como la intensidad o potencia que puedan soportar sus contactos.

La clase del contactor depende de la carga a maniobrar y de las condiciones a las cuales se efectúen los cortes:

- **AC1**, para cargas no inductivas o débilmente inductivas cuyo factor de potencia es mínimo 0,95.
- **AC2**, para arranques de motores de anillos, inversión de marcha, frenado por contracorriente, marcha a impulsos de motores de anillos, cuyo factor de potencia es de 0,3 a 0,7.
- **AC3**, para el control de motores jaula de ardilla que se apagan a plena marcha y que en el arranque consumen de 5 a 7 veces la intensidad normal.
- **AC4**, arranque de motores de rotor en cortocircuito, inversión de marcha, marcha a impulsos, frenado por contracorriente.⁵

En general los tiempos de cierre y apertura de un contactor están en el orden de los milisegundos, tal es el caso del contactor Terasaki TKC9, clase AC3, 200 – 240V,

⁵ Manual AEG para instalaciones eléctricas de alumbrado y fuerza motriz. AEG

2.5KW, 11A, cuyos tiempos de cierre y apertura están en el orden de 10 ms y 9 ms respectivamente.

1.4 RELES

Un relé de protección es un dispositivo que puede ser accionado por señales de baja potencia: voltaje, corriente o ambas. Al energizarse indica o aísla las condiciones anormales de operación del sistema eléctrico.

Consta básicamente de un circuito de entrada que es el control o excitación, un circuito de acoplamiento y un circuito de salida para carga o maniobra.

1.4.1 TIPOS DE RELES

Los tipos básicos de relés de acuerdo a su construcción y principio de operación son:

- Relés Electromecánicos, constan de un juego de contactos que se cierran por efecto magnético.
- Relés de Estado Sólido, no tienen contactos y realizan la conmutación mediante dispositivos electrónicos.
- Relés Híbridos, son una combinación de los dos tipos anteriores.

Relés electromecánicos

Están formados por una bobina y contactos los cuales pueden maniobrar corriente continua o alterna. Estos relés están disponibles para conmutar contactos en un rango de milivoltios a cientos de voltios. Los contactos se cierran o se abren debido al efecto magnético que produce una bobina a la que se le aplica voltaje como señal de control. Por lo general el tiempo de apertura y cierre de los contactos está en el orden de 15 a 20 milisegundos.

Relés de estado sólido

Un relé de estado sólido es un circuito electrónico que utiliza un interruptor de estado sólido en lugar de los contactos mecánicos de los relés normales, para conmutar cargas de potencia a partir de señales de control de bajo nivel provenientes de circuitos digitales o circuitos microprocesados.

El aislamiento entre la circuito de control y la etapa de potencia lo proporciona por lo general un optoacoplador. Los interruptores pueden ser transistores bipolares, MOSFET's de potencia, triacs, tiristores, etc.

Son rápidos, no se desgastan, son inmunes a los choques y a las vibraciones, pueden conmutar altas corrientes y altos voltajes sin producir arcos, proporcionan un efectivo aislamiento entre la entrada y la salida, son inmunes a la contaminación atmosférica industrial. Se aplica a múltiples cargas tales como motores, lámparas, solenoides, calefactores, etc.

1.4.2 COMPARACIÓN DE RELÉS ELECTROMECAÑICOS Y DE ESTADO SÓLIDO⁶

Los relés electromecánicos y de estado sólido son totalmente diferentes desde sus principios básicos de operación hasta su estructura física.

1.4.2.1 Características de operación de los relés

La tabla 1.1 a continuación indica los términos equivalentes utilizados para la operación de cada uno de los relés.

⁶ Electrical Motor Controls. Rockis-Mazur

**TERMINOLOGÍA EQUIVALENTE DE OPERACIÓN PARA RELÉS
ELECTROMECAÑICOS Y DE ESTADO SÓLIDO**

RELES ELECTROMECAÑICOS	RELÉS DE ESTADO SÓLIDO
1. Coil Voltaje: Voltaje mínimo necesario para energizar y operar al relé.	1. Control Voltage: Voltaje mínimo requerido para el gate o para activar el circuito de control del relé de estado sólido.
2. Coil Current: Valor de corriente necesario para energizar y operar al relé	2. Control Current: Corriente mínima requerida para encender o activar el circuito de control del relé de estado sólido.
3. Hold Current: Corriente mínima requerida para tener al relé energizado y operando.	3. Control Current.
4. Drop Out Voltage: Máximo voltaje al cual el relé no está energizado.	4. Control Voltage.
5. Pull-in Time: Valor de tiempo necesario para operar (abrir o cerrar) los contactos del relé después de aplicar voltaje a la bobina.	5. Turn-on Time: Lapso de tiempo entre la aplicación del voltaje de control y la consecuente aplicación del voltaje para el circuito de carga.
6. Drop Out Time: Valor de tiempo requerido para que los contactos regresen a la posición normal de no operación.	6. Turn-off Time: Lapso de tiempo entre la eliminación del voltaje de control y la consecuente eliminación del voltaje de carga.
7. Contact Voltaje Rating: Índice máximo de voltaje al cual los contactos del relé son capaces de conmutar sin deterioro.	7. Load Voltaje: Máximo voltaje de salida que es capaz de maniobrar el relé de estado sólido.
8. Contact Current Rating: Índice máximo de corriente que los contactos son capaces de conmutar sin deterioro.	8. Load Current: Máxima corriente de salida que es capaz de maniobrar el relé de estado sólido.
9. Surge Current: Pico máximo de corriente que pueden soportar los contactos, por periodos cortos de tiempo sin deterioro.	9. Surge Current: Pico máximo de corriente que puede soportar el relé de estado sólido por periodos cortos de tiempo sin deterioro.

continua...

...viene

10. Contact Voltage Drop: Voltaje de caída a través de los contactos del relé cuando está operando.	10. Switch On Voltage Drop: Voltaje de caída a través del relé de estado sólido cuando está operando.
11. Insulation Resistance: Valor de resistencia medida a través de los contactos en posición de apertura.	11. Switch Off Resistance: Valor de resistencia medida a través del relé de estado sólido cuando está apagado.
12. No tiene equivalente.	12. Off State Current Leakage: Valor de corriente de fuga a través del relé de estado sólido cuando está apagado pero todavía está conectado al voltaje de carga.
13. No tiene equivalente.	13. Zero Current Turn-off: El apagado se da en el cruce por cero de la corriente de carga que circula a través del relé de estado sólido.
14. No tiene equivalente.	14. Zero Voltage Turn-on: El activado inicial ocurre en un punto cercano al cruce por cero del voltaje AC de línea.

Tabla 1.1 Terminología equivalente para relés electromecánicos y de estado sólido

Señales de Entrada (Términos 1, 2, 3 y 4)

En un relé electromecánico el efecto electromagnético atrae a los contactos y los une con la armadura. Para describir el proceso de energizar y desenergizar un dispositivo electromecánico es necesario usar cuatro especificaciones definidas como: voltaje de bobina, corriente de bobina, corriente de mantenimiento y voltaje máximo al cual el relé no llega a energizarse.

En el relé de estado sólido sus interruptores requieren de valores mínimos de voltaje y corriente para el encendido y apagado. La señal de entrada de un relé de estado sólido se describe mediante dos especificaciones voltaje y corriente de control. La naturaleza electrónica de los relés de estado sólido los hace compatibles con circuitos lógicos de control que requieren voltajes y corrientes mínimos de niveles TTL.

Tiempo de respuesta (Términos 5 y 6)

Como ya se mencionó anteriormente los tiempos de cierre y apertura en un relé electromecánico son de 15 a 20 milisegundos. Los tiempos de conmutación en DC para el relé de estado sólido son en el rango de los microsegundos, mientras que en AC es menor que 8.33 milisegundos. Por lo tanto el relé de estado sólido es más rápido que un relé electromecánico.

Índices de Voltaje y Corriente (Términos 7, 8 y 9)

En este punto se establece la capacidad máxima de conmutación que presentan los contactos y los dispositivos electrónicos tales como los SCR's y Triacs, así como los picos de corriente de corta duración que puede soportar cada uno de estos elementos sin que lleguen a deteriorarse.

Los relés de estado sólido no forman arcos eléctricos en la conmutación y no tienen partes móviles. En los relés electromecánicos se pueden reemplazar los contactos que se han deteriorado por corrientes excesivas que han circulado a través de ellos.

Voltajes de caída y resistencia en la apertura (Términos 10 y 11)

Para los dos tipos de relés existe una caída de voltaje a través de los contactos o de los elementos de estado sólido al momento de cerrarse y operar como interruptores que no afecta al voltaje que se suministra a la carga.

Mientras que al estar apagados o en posición de apertura constituyen una resistencia infinita para el relé electromecánico y una resistencia de pequeño valor para el relé de estado sólido.

Aislamiento y corrientes de fuga (Término 12)

Cuando los contactos están abiertos, en el entrehierro se tiene una resistencia infinita lo que no permite circulación de corriente, mientras que los relés de estado sólido

presentan una resistencia que puede ser medida cuando están desactivados lo que da lugar a la circulación de una pequeña cantidad de corriente a través del dispositivo que es la corriente de fuga.

El índice de la corriente de fuga en un relé estado sólido se determina a 200 V_{DC} en la salida y no debe exceder los 200 mA.

Apagado por cruce por cero de la corriente (Término 13)

Es una característica única de los relés de estado sólido que se apagan cuando la corriente que circula a través de ellos disminuye a cero. Los semiconductores por naturaleza se apagan automáticamente cuando la corriente AC de la carga cruza por cero.

Activado por cruce por cero del voltaje (Término 14)

Al igual que el término 13, esta característica es exclusiva de los relés de estado sólido puesto que están en la capacidad de ser activados mientras están polarizados en directa. Esto implica que la activación se puede realizar en forma sincrónica con el cruce por cero del voltaje positivo de entrada (AC) en cada ciclo para suministrar un control continuo de potencia.

1.4.2.2 Ventajas y desventajas de los relés

La tabla 2.2 hace referencia a las ventajas y desventajas que presenten los relés analizados en su estado activo. Las ventajas se especifican con la letra V y las desventajas con D. Esta tabla sintetiza de mejor manera ciertos aspectos de operación que cada uno de los relés está en la capacidad de manejar y soportar.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RELÉS ELECTROMECAÑICOS Y DE ESTADO SÓLIDO

CARACTERÍSTICAS GENERALES	RELÉ ELECTROMECAÑICO	RELÉ DE ESTADO SÓLIDO
1. Arcos eléctricos al conmutar la carga.	D	V
2. Efectos de temperatura.	V	D
3. Resistencia a choques y vibraciones.	D	V
4. Inmunidad a funcionamiento incorrecto debido a transientes.	V	D
5. Activado a voltaje cero.	D	V
6. Ruido acústico.	D	V
7. Conmutación multipolo.	V	D
8. Costo general.	V	D
9. Resistencia a variaciones de corriente.	V	D
10. Tiempo de respuesta.	D	V
11. Voltaje de caída en el circuito de carga.	V	D

continua...

...viene

12. Conmutación AC y DC con los mismos contactos.	V	D
13. Apagado a corriente cero.	D	V
14. Corriente de fuga.	V	D
15. Durabilidad por cierre y apertura.	D	V

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de los relés electromecánicos y de estado sólido

1.5 SEMICONDUCTORES DE CONMUTACIÓN⁷

Los dispositivos semiconductores de potencia pueden operar como interruptores mediante la aplicación de señales de control a la terminal correspondiente para dar lugar a la conmutación, por ende estos elementos son biestables.

Para la selección de los semiconductores utilizados en el control de potencia, es necesario considerar un conjunto de especificaciones tales como: niveles de voltaje de bloqueo, voltajes y corrientes máximos de conducción, voltajes y corrientes de activado, niveles de aislamiento, picos de corrientes no repetitivos que puede soportar, voltajes pico repetitivos directos e inversos, caída de voltaje directo entre los terminales, máxima temperatura de la juntura, máxima potencia de disipación, etc. que vienen en los manuales proporcionados por los fabricantes para elegir de forma adecuada un dispositivo semiconductor para una aplicación específica.

1.5.1 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE SEMICONDUCTORES DE POTENCIA

Las razones técnicas para la utilización de sistemas electrónicos y de potencia son la gran velocidad y la dinámica de regulación que se asocia a sus dispositivos. Las

⁷ Electrónica de Potencia. Rashid Muhammad

razonés económicas son la reducción del peso, el volumen y el buen rendimiento de los elementos.

1.5.2 TIRISTORES

Los tiristores o SCR's (Silicon Controlled Rectifier) son conmutadores biestables o interruptores pasando de un estado no conductor a un estado conductor. El tiristor es un semiconductor de cuatro capas de estructura pnpn y tres terminales: ánodo, cátodo y compuerta.

Corriente de Activado

La forma adecuada de activar un tiristor al estar polarizado en directa (voltaje del ánodo es positivo respecto al cátodo) es mediante la aplicación de un impulso de corriente a la compuerta con un voltaje positivo entre la compuerta y el cátodo. Una vez en conducción, la corriente que circula a través del tiristor depende de la carga que maneja y permanece así hasta que la corriente de trabajo sea menor a la necesaria para mantener el estado activo del elemento. Una vez que se dispare el SCR, la corriente de compuerta no tienen ningún efecto y puede retirarse. En conducción la caída de voltaje directo a través del SCR es de 1 a 2V.

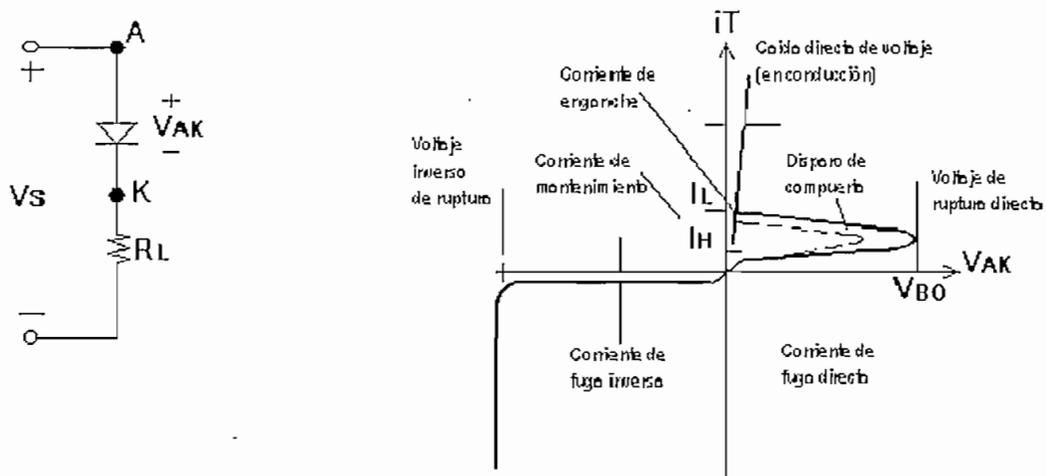


Figura 1,6 Circuito tiristor y características v - i

Estas características se indican en la figura 1.6 anterior, en la que consta además las corrientes necesarias para mantener activo al tiristor.

La corriente de enganche I_L mantiene el tiristor en estado de conducción inmediatamente después de ser activado y retirada la señal de compuerta. La corriente de mantenimiento I_M mantiene al tiristor en estado de régimen permanente o en estado de bloqueo.

1.5.3 INTERRUPTORES ESTÁTICOS

Los interruptores estáticos son de accionamiento rápido al ser activados y desactivados en el orden de microsegundos lo que es una gran ventaja frente a los interruptores electromecánicos.

Se clasifican en dos tipos: interruptores de corriente alterna y de corriente continua. Los de alterna se subdividen en monofásicos y trifásicos.

En los interruptores de AC la conmutación es por línea o en forma natural y la velocidad en el apagado depende de la frecuencia de la alimentación de alterna y del tiempo de desactivación propia de sus elementos; los interruptores de DC requieren de conmutación forzada y la velocidad dependerá del circuito auxiliar y del tiempo de desactivación de los elementos.

Interruptores de AC monofásicos

Como se muestra en la figura 1.7 una manera de integrar un interruptor de AC es mediante la configuración de SCR's en antiparalelo. En general para cualquier carga, el tiristor T1 es disparado cuando la corriente cruce por cero después del medio ciclo positivo del voltaje de entrada, mientras que T2 se dispara en el cruce por cero de la corriente después del medio ciclo negativo del voltaje de entrada.

En una carga resistiva, el voltaje y la corriente están en fase y coinciden en sus cruces por cero respectivos donde se da lugar los pulsos de activado para cada

SCR; en una carga inductiva o con componentes de esta naturaleza, la corriente se retrasa respecto al voltaje y como la condición de apagado de un tiristor se debe a la disminución de la corriente directa a través de él hasta cero, entonces se requiere este nivel en la corriente de carga para activar el otro tiristor que tiene la polarización adecuada y al que se le aplica las mismas características de apagado.

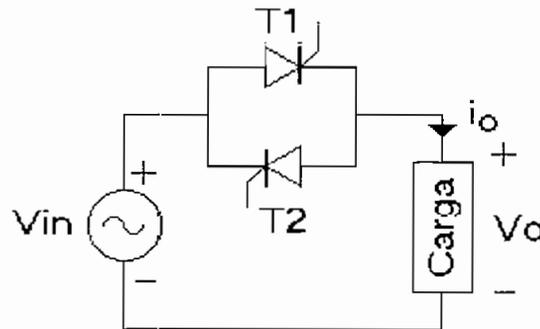


Figura 1.7 Interruptor monofásico de AC

Interruptores de AC trifásicos

Se puede conectar tres interruptores monofásicos para formar un interruptor trifásico. La concepción de los pulsos de activado para cada tiristor es la misma que para el caso monofásico. La carga puede conectarse en estrella o en delta.

Interruptores de DC

En los interruptores de DC se utilizan transistores de potencia, tiristores de conmutación rápida o GTO's. Si el elemento de este interruptor es un SCR, es necesario un circuito de conmutación forzada para el apagado.

En general los interruptores de AC y DC presentan muchas ventajas gracias a los elementos semiconductores de potencia y circuitos integrados con los que se pueden obtener módulos de control ON-OFF para diversas aplicaciones.

1.6 COMUNICACIÓN SERIAL

La comunicación serial realiza la transferencia de información enviando o recibiendo datos descompuestos en bits.

Está compuesta de dos elementos básicos: el hardware para la configuración de los conectores y niveles de voltaje y el software con el que se controla la información binaria a transferir.

La comunicación está regida por protocolos, el utilizado por las computadoras convencionales es el protocolo RS-232. Los modos de transmisión de las comunicaciones electrónicas son: simplex, half-duplex, full-duplex.

Protocolo de comunicación RS232

Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, los niveles de voltajes utilizados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos, los conectores, etc.

Además de las líneas de transmisión (Tx) y recepción (Rx), las comunicaciones seriales poseen otras líneas de control de flujo (Hand-shake), su uso es opcional dependiendo del dispositivo a conectar.

Utiliza rangos de tensiones para representar los niveles lógicos. El nivel alto se representa con una tensión comprendida entre -3 V y -15 V , mientras que el nivel bajo utiliza el rango de $+3\text{ V}$ a $+15\text{ V}$.

A nivel de software, la configuración para la comunicación consiste en selección de la velocidad en baudios (1200, 2400, 4800, etc.), la verificación de datos o paridad (paridad par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 o 2) y la cantidad de bits por dato (7 u 8) que se utiliza para cada carácter enviado.

Comunicaciones seriales asincrónicas

Los datos a transmitir se encuentran encapsulados en tramas de la forma:



En una comunicación serial asíncrona el receptor y el transmisor se resincronizan mediante el bit de inicio de cada trama. Los datos se pueden transmitir en cualquier tiempo. Normalmente las comunicaciones seriales tienen los siguientes parámetros: 1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit de parada y sin paridad.

1.7 MICROCONTROLADORES

En general las aplicaciones de los microcontroladores son ilimitadas. Con un enfoque especial a la familia de los microcontroladores PIC que son versátiles, rápidos y de sencilla programación.

Tienen líneas de entrada / salida tipo TTL (lógica transistor-transistor), destinadas para: la alimentación, el cristal para establecer la frecuencia de trabajo, reset y control sobre periféricos externos de entrada o salida, digitales o análogos.

Cuentan con un set de instrucciones tipo RISC (Reduced Instruction Set Computer) y un tiempo de ejecución más rápido. Se basan en la arquitectura Harvard, que consiste en tener buses independientes para la memoria de programa y la memoria de datos, permitiendo ejecutar una instrucción al mismo tiempo que se prepara la siguiente. Constan de fuentes de interrupción, timers, módulo PWM, módulo de comunicación serial, conversor AD, disponibilidad de memoria de datos EEPROM, Watch Dog Timer (WDT) interno con oscilador propio independiente. El modelo de programación es con registros. Las instrucciones son ortogonales, por lo que los registros internos trabajan como fuente o como destino. Tales registros son los de funciones especiales y los de uso general.

Microcontrolador PIC16F877⁸

Haciendo referencia especial al microcontrolador PIC16F877 de la casa Microchip de 40 pines CMOS FLASH (figura 1.8) que incorpora los elementos antes mencionados además de un reducido set de 35 instrucciones que se ejecutan en un solo ciclo de máquina excepto los saltos que se ejecutan en dos, una frecuencia máxima de trabajo de 20MHz lo que da lugar a un tiempo de 0.2 μ s por cada ciclo de instrucción.

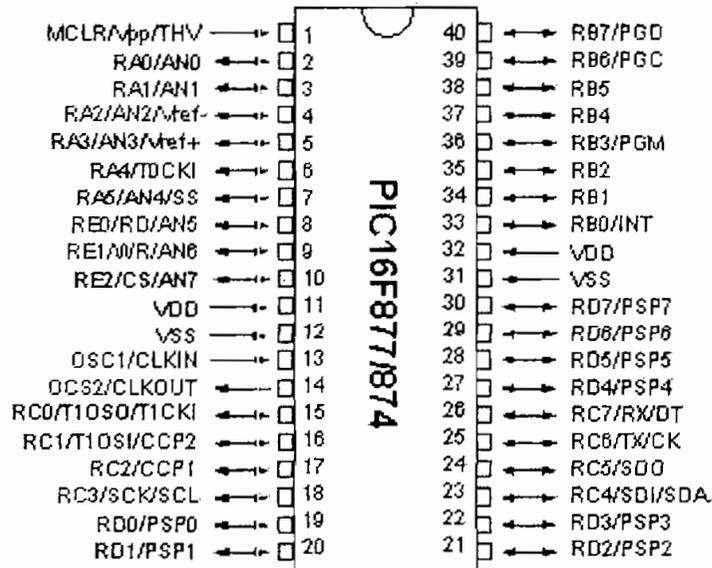


Figura 1.8 Diagrama de pines del Microcontrolador PIC 16F877

Posee las siguientes memorias: una Memoria de Programa de 8K x 14 palabras FLASH, una Memoria de Datos de 368 x 8 bytes RAM y una Memoria de Datos de 256 x 8 bytes EEPROM, diseño completamente antiestático, programación serial vía dos pines (ICSP) a 5V, tecnología CMOS FLASH/EEPROM de alta velocidad y de bajo consumo de energía, puede manejar corrientes de hasta 25mA y funcionar con un rango de voltaje comprendido entre 2 a 5V, modo de trabajo SLEEP para reducir el consumo de potencia, ocho niveles de pila, protección de código programable, manejo de 14 fuentes de interrupción, 3 timers, etc.

⁸ Data Sheet PIC16F87X. Microchip Technology Incorporated

Una aplicación muy interesante del microcontrolador PIC es la comunicación con otros dispositivos inteligentes como es el caso de un computador a través de protocolos seriales de comunicación, siendo el RS232 el de mayor uso*. Para ello el microcontrolador PIC cuenta con el módulo USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). El USART puede ser configurado como un sistema asincrónico full duplex para comunicarse con periféricos tales como terminales CRT y computadores, o como un sistema sincrónico half duplex para comunicarse con periféricos como conversores A/D y D/A, memorias EEPROM seriales, etc. Cuando el USART realiza la comunicación con varios procesadores usa 9 bits para la detección de direcciones. El USART opera en los siguientes modos:

1. Asincrónico (full duplex).
2. Sincrónico Maestro (half duplex).
3. Sincrónico Esclavo (half duplex).

En el interior del PIC el programa gestiona la entrada y salida de la información serial mediante la configuración del modo de trabajo del módulo USART.

1.8 DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO LCD

El módulo LCD o pantalla de cristal líquido permite mostrar cualquier tipo de carácter alfanumérico. El LCD de dos líneas por 16 caracteres en cada línea puede ser alimentado por una tensión nominal de 5V y consume una corriente menor a 5mA, permite: mostrar treinta y dos caracteres, almacenar en total cuarenta caracteres por línea y es el usuario quien especifica cuales son los que visualizará. Un carácter puede ser representado por una matriz de 5 x 10 puntos. En total se pueden representar 256 caracteres diferentes, 240 de ellos están grabados dentro del LCD y representan las letras mayúsculas, minúsculas, signos de puntuación, números, etc.

* El circuito integrado MAX232 permite convertir los niveles lógicos proporcionados por las líneas del microcontrolador con los exigidos por la norma RS232. El integrado se alimenta con +5 V y consta de cuatro canales, dos canales de entrada para niveles TTL con sus correspondientes salidas en niveles 232 y viceversa.

Dispone de dos tipos de memorias independientes. La memoria DDRAM (Display Data RAM) en la que se almacenan los caracteres que se visualizan o se encuentran en posiciones no visibles. Se almacenan en esta memoria dos líneas de cuarenta caracteres pero solo se visualizan dos líneas de 16 caracteres. La memoria CGRAM (Character Generator RAM), contienen los caracteres definibles por el usuario. Está formada por 64 posiciones, con direcciones 00 a 3F. Cada posición es de 5 bits. La tabla 1.3 indica la distribución de pines para el LCD 2 x 16.

DISTRIBUCIÓN DE PINES LCD

PIN	SIMBOLOGÍA	FUNCIÓN
1	V _{SS}	Tierra (0 V)
2	V _{CC}	Alimentación (5 V)
3	V _D	Ajuste del contraste
4	RS	0 = Escribir en el módulo LCD 1 = Leer del módulo LCD
5	R/W	0 = Entrada de una instrucción 1 = Entrada de un dato
6	E	Habilitación del LCD
7-14	DB0-DB7	Datos
15	A	Anodo (Led Backlight)
16	K	Cátodo (Led Backlight)

Tabla 1.3 Distribución de pines del LCD 2 x 16

1.9 CARACTERÍSTICAS DE UNA INTERFASE DE USUARIO

En una aplicación, la interfase de usuario es lo más importante, puesto que al ser bien diseñada facilita la realización de la tarea para la que haya sido elaborada, de tal manera que los aspectos técnicos involucrados en la escritura y optimización del código que se ejecuta quedan a cargo del programador.

Para el diseño de una interfase es necesario conocer a que usuarios está destinado, si su uso será constante o en forma eventual, si solo muestra información o requiere obtener información, si consta de un solo documento o de varios, que nivel de interacción con el usuario requiere, la estructura en lo referente a pantallas con menús, cuadro de diálogos, mensajes, gráficos, etc. si requiere la intervención de programas alternos para su desarrollo.

Además la interfase debe proporcionar ayuda al usuario, muy conveniente en caso de que se produzcan errores, que le sea fácil de manejar y de comprender, una aplicación con un entorno agradable y dinámico conforme a las acciones a realizar.

1.9.1 PROGRAMACION EN VISUAL BASIC 6.0

Visual Basic proporciona las herramientas necesarias para realizar múltiples aplicaciones, desde interfases de usuario hasta usar objetos de otras aplicaciones, manipular textos y gráficos al trabajar con bases de datos.

Características generales de VB⁹

En una aplicación de Visual Basic, el programa está formado por una parte de código puro y otras asociadas a objetos que forman parte de la interfase gráfica. La creación de un programa consta de los siguientes pasos:

⁹ Folleto Visual Basic. Laboratorio de Informática

- **Creación de una interfase de usuario.** Es la principal vía de comunicación hombre-máquina, para la entrada y salida de datos. Es necesario partir de una ventana.
- **Formulario.** Al que se añade los controles necesarios.
- **Definición de las propiedades de los controles y objetos del formulario.** Estas propiedades determinan como son los controles y para que sirven.
- **Generación del código asociado a los eventos que ocurran a estos objetos.** Procedimiento es la respuesta a estos eventos y se generan de acuerdo a las necesidades del programa.
- **Generación del código de programa.** Este código puede introducirse en bloques llamados Módulos, Funciones y Procedimientos.

Programación por eventos

En las aplicaciones por procedimientos, la aplicación controla qué partes de código y en qué secuencia se ejecutan. La ejecución comienza con la primera línea de código con una ruta predefinida a través de la aplicación, llamando a los procedimientos según se necesiten.

En una aplicación controlada por eventos se ejecuta el código en distintas secciones como respuesta a los eventos. Los eventos pueden desencadenarse por acciones del usuario, por la propia aplicación, por mensajes del sistema o de otras aplicaciones.

La secuencia de estos eventos determina la forma en la que se ejecuta el código, por lo que la ruta de la aplicación es diferente cada vez que se ejecuta el programa. Es importante comprender el modelo controlado por eventos y tenerlo en cuenta cuando se diseña una aplicación.

CAPÍTULO 2

Diseño e Implementación del RESM

CAPITULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL RESM

2.1 INTRODUCCIÓN

El prototipo al ser catalogado como un elemento de protección, debe estar ubicado entre la red de alimentación y la carga, para habilitar o deshabilitar los interruptores de estado sólido cuando sea necesario.

Dentro del prototipo Relé de Estado Sólido Microcontrolado RESM se encuentran los circuitos especializados para adquirir los voltajes de la red, acondicionarlos para ingresar niveles proporcionales al microcontrolador que toma estas señales, analiza si se encuentran en los niveles correctos y decide sobre la conexión o no de la carga a la fuente, genera las correspondientes señales de salida a los interruptores de potencia conformados por SCR's en antiparalelo por cada fase, e interactúa con el usuario mediante una interfase externa compuesta por botones pulsadores, leds, LCD y un terminal DB9 para establecer comunicación con otra interfase en un computador.

2.2 FUNCIONES DEL PROTOTIPO RELÉ DE ESTADO SÓLIDO MICROCONTROLADO RESM

El RESM realiza de forma continua e instantánea las siguientes funciones:

- Supervisa el voltaje de la fuente trifásica que alimenta a las cargas.
- Analiza si las variaciones que presenta el voltaje de la red, están ubicadas dentro de un rango considerado como normal. Este rango depende de la variación o tolerancia en el voltaje de alimentación que admita la carga.

- Controla el cierre o apertura de los interruptores de potencia (elementos de estado sólido). Si tales variaciones están fuera del rango, el control envía las señales de bajo nivel correspondientes para la apertura de los interruptores y evitar el daño consecuente o permanente de la carga. Si por el contrario las variaciones están dentro del rango la carga permanece conectada.
- Detecta fallas críticas como sobrevoltajes, picos y falta de fases, ante las cuales el control actúa de manera instantánea abriendo los interruptores.
- Conexión y desconexión manual.
- Reconexión manual o automática una vez restablecido el voltaje después de la apertura de los interruptores frente a una falla.
- Visualiza el voltaje que presente la red de alimentación mediante un display de cristal líquido LCD.
- El usuario establece en el RESM el rango de voltaje adecuado para funcionamiento de la carga de potencia.
- Permite la comunicación con un computador personal vía RS232 para la transmisión y recepción de datos.

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El diagrama de bloques de la figura 2.1 sintetiza el RESM indicando sus partes constitutivas para una mejor comprensión de los pasos seguidos en el diseño.

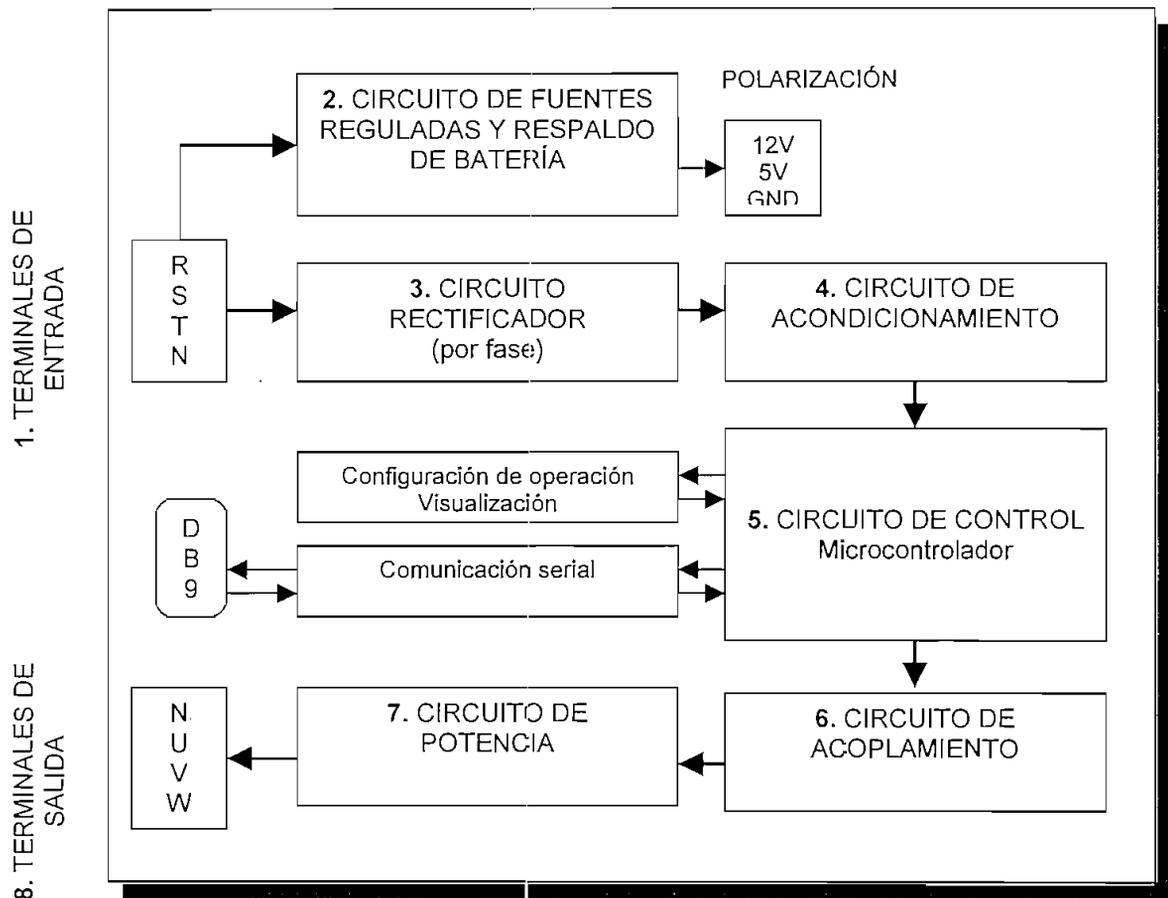


Figura 2.1 Diagrama de bloques RESM

1. Terminales de entrada de la red de alimentación trifásica.
2. Circuito de fuentes aisladas +12V y +5V que polarizan los circuitos de acondicionamiento y control respectivamente, incluye un circuito de respaldo en base a una batería de 18V.
3. Circuito rectificador por fase, para obtener un voltaje DC con el que se analiza el estado de la red, el mismo que ingresa al circuito de acondicionamiento.

4. Circuito de acondicionamiento y protección del que provienen las señales análogas y digitales a ser analizadas en el circuito de control.
5. Circuito de control constituido por un microcontrolador PIC en el que se implementa los algoritmos necesarios para detectar, analizar, visualizar y decidir en este último caso sobre los interruptores de potencia. Además se implementa un circuito adicional de comunicación serial y configuración del rango de control que da lugar a la interfase con el usuario.
6. Circuito de acoplamiento de las señales de activado de los interruptores de potencia para el aislamiento entre el control y fuerza.
7. Circuito de potencia que contiene los interruptores de estado sólido para conexión o desconexión de la fuente a la carga.
8. Terminales de salida para la carga de potencia.

Una vez identificados los circuitos que conforman el sistema de control propuesto se detallan cada uno de ellos.

2.3.1 FUENTES REGULADAS Y RESPALDO DE BATERÍA

El bloque 2 de la figura 2.1 se representa en el diagrama de la figura 2.2 y el circuito correspondiente en la figura 2.3.

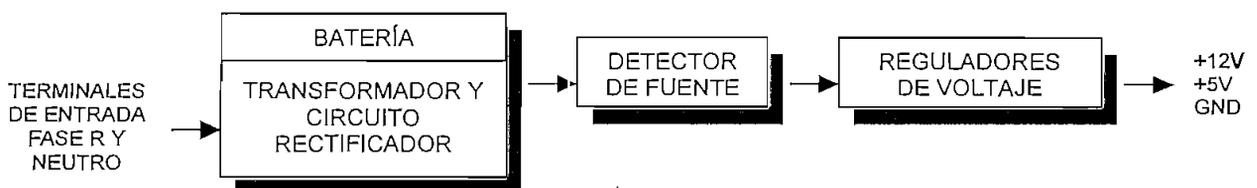


Figura 2.2 Diagrama de bloques fuentes reguladas y respaldo de batería

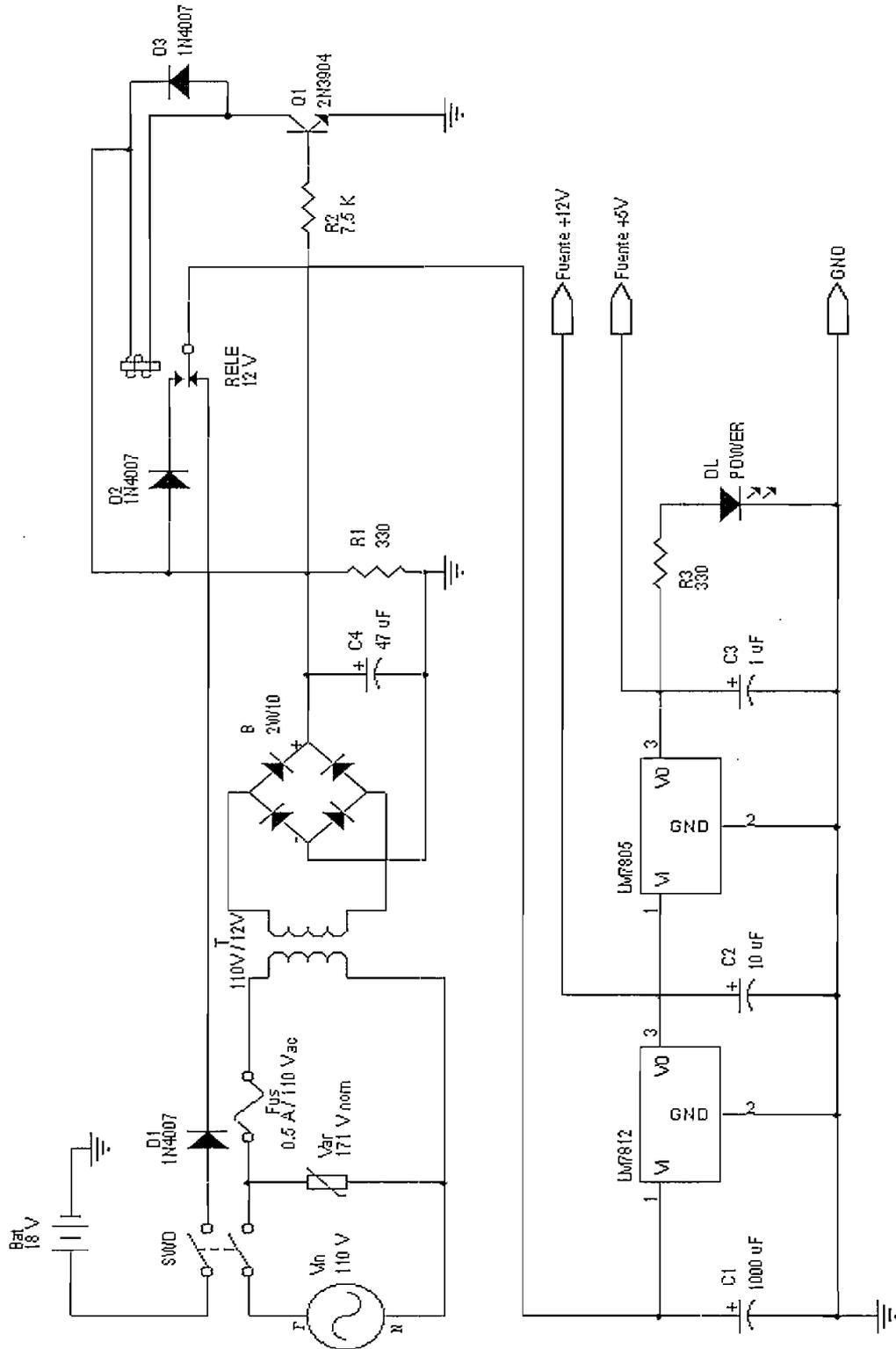


Figura 2.3 Circuito fuentes reguladas y respaldo de batería

Transformador y Reguladores de Voltaje

La fuente de polarización debe proveer dos salidas: +12V para el circuito de acondicionamiento y +5V para el circuito de control. Estos voltajes se obtienen con los reguladores fijos LM7812 y LM7805 respectivamente.

El transformador para la polarización queda dimensionado por la relación de transformación y la corriente que debe entregar. Se excluye del cálculo el filtro RC del circuito detector de fuente que se indica en lo posterior.

El circuito de acondicionamiento y de control consumen aproximadamente 300mA, por lo tanto se considera para los cálculos que la fuente de polarización debe proveer una corriente máxima de consumo de 500mA.

Se debe asegurar que el voltaje de entrada nunca sea inferior a $14V_{DC}$, valor mínimo requerido por el regulador LM7812 de acuerdo a las especificaciones. El voltaje de ingreso a este regulador es generado por un rectificador de onda completa con filtro capacitivo cuyo voltaje de alimentación RMS está dado por la ecuación 2.1¹⁰:

$$V_{RMS} = \frac{V_{DC} + \left(\frac{4.17I_{DC}}{C_1} \right) + 1.4}{\sqrt{2}} \quad \text{Ec 2.1}$$

V_{RMS} = Voltaje de alimentación AC

V_{DC} = Voltaje DC de la señal rectificada con el filtro C_1

I_{DC} = Corriente rectificada

C_1 = Capacitor a la entrada del regulador de 12 V LM7812

Se considera un capacitor $C_1 = 1000\mu F$ a la entrada del regulador LM7812, la corriente máxima $I_{DC} = 500mA$ y se asume un voltaje $V_{DC} = 14V$, reemplazando estos datos en la ecuación anterior se obtiene el voltaje eficaz de entrada al rectificador:

¹⁰ Tesis "Sistema de Desarrollo para los Microcontroladores PIC". Germán B. Aucapiña, 2002.

$$V_{RMS} = 12V$$

Por lo tanto, el transformador para las polarizaciones cumple con las siguientes especificaciones: 110 / 12V_{RMS}, 500mA.

La salida del regulador LM7812 es la alimentación del regulador LM7805 que requiere una voltaje mínimo de entrada de 7V_{DC}.

Los elementos reguladores tienen en sus salidas respectivas dos capacitores adicionales y especificados para 35V de $C_2 = 10\mu F$ y $C_3 = 1\mu F$, que mejoran la respuesta transitoria de la tensión de salida regulada. La hoja de características de la serie LM78XX sugiere estos valores para los capacitores¹¹.

Detector de Fuente

Un relé conmuta entre el rectificador y el circuito de respaldo que consta de una batería de 18 V para garantizar la alimentación continua al acondicionamiento y control aún cuando no haya voltaje en la fase a la que se conecte el transformador para este circuito.

Cuando la bobina está excitada el contacto normalmente abierto (NA) del relé se cierra y conmuta a la salida del rectificador para alimentar los reguladores; si la bobina no está excitada implica que el voltaje en la fase es cero y el contacto normalmente cerrado (NC) alimenta a los reguladores por la batería.

El relé opera a través de un transistor Q₁ 2N3904 - NPN trabajando en corte y saturación. Cuando existe voltaje en la fase analizada, el circuito es activado colocando un nivel alto en la resistencia limitadora que va a la base del transistor y en la bobina del relé protegida con un diodo D₃ 1N4007 en antiparalelo.

¹¹ Principios de Electrónica. Malvino.

Este nivel alto se consigue mediante un filtro R_1C_4 a la salida del rectificador; puesto que la bobina se energiza con $12V_{DC}$, se asume que el filtro debe proporcionar un voltaje de $13V_{DC}$ dado por la ecuación 2.2¹², de la que se despeja la relación R_1C_4 :

$$V_{DC} = \frac{V_m}{1 + \frac{1}{4R_1C_4f}} \quad \text{Ec 2.2}$$

$$R_1C_4 = 0.013642$$

V_{DC} = Voltaje DC de la señal rectificada con el filtro R_1C_4

V_m = Voltaje pico de la señal rectificada

R_1 = Resistencia del filtro R_1C_4

C_4 = Capacitor del filtro R_1C_4

f = Frecuencia de red de 60Hz

Los valores estandarizados del filtro que cumplen con esta relación son $R_1 = 330\Omega$ y $C_4 = 47\mu F$.

Tomando en cuenta que la resistencia del relé es de $R_R = 394\Omega$, el cálculo de la resistencia limitadora es el siguiente:

$$I_C = \frac{V_{DC}}{R_R} = \frac{13.4 - 0.2}{394} = 33.56mA \quad \text{Ec 2.3}$$

$$I_b = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{33.5}{200} = 0.167mA \quad \text{Ec 2.4}$$

$$I_{hsat} = 10I_b = 1.67mA \quad \text{Ec 2.5}$$

$$R_2 = \frac{V_{DC}}{I_{hsat}} = \frac{13.4 - 0.7}{1.67} = 7.6K\Omega \quad \text{Ec 2.6}$$

¹² Dispositivos Electrónicos. Ing. Carlos Novillo.

V_{DC} = Voltaje DC de la Ec 2.2

R_R = Resistencia del relé

I_C = Corriente de colector

I_b = Corriente de base

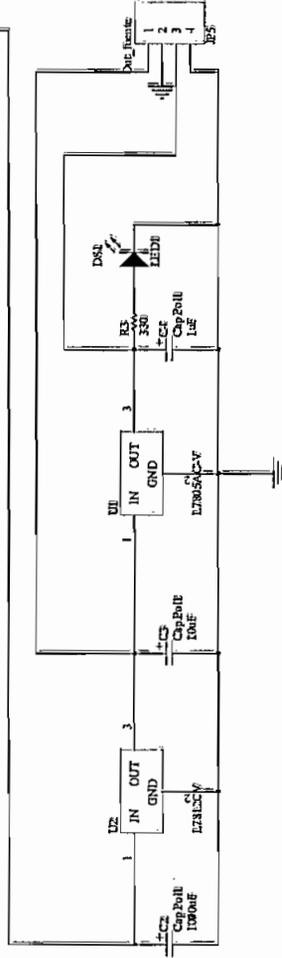
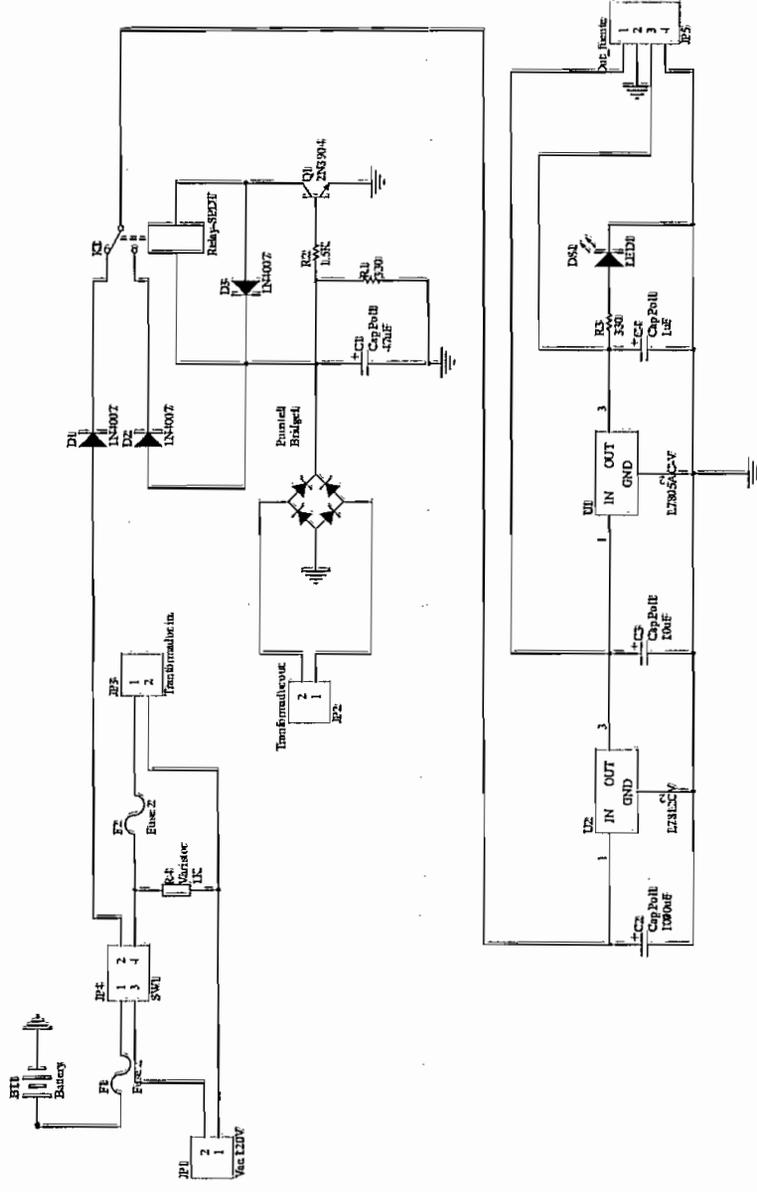
h_{fe} = Ganancia de corriente de 200 para el transistor 2N3904 - NPN

I_{bsat} = Corriente de base en saturación

R_2 = Resistencia limitadora

El puente rectificador utilizado es 2W10 de 1A. Como elementos adicionales se incorpora los diodos D_1 y D_2 1N4007 para que las corrientes rectificadas y de la batería sean unidireccionales.

Para las protecciones se tienen fusibles de acción rápida de 0.5A / 110V y un varistor para los picos instantáneos de voltaje nominal $171V_{nom}$ y un nivel de ruptura de 270V. Además consta de un interruptor doble y un indicador de presencia de fuentes de polarización mediante un led D_L .



TITULO			
Numero	Revisión	Revista	
0465/2003		Sheet of	DT
FILE	D:\SILVANA\Wheeler\Barras\CH002	Drawn by:	Koppar-Avile

2.3.2 RECTIFICADOR POR FASE PARA DETECTAR LAS VARIACIONES DEL VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN

El bloque 3 de la figura 2.1 se representa en el diagrama de la figura 2.4 y el circuito en la figura 2.5.



Figura 2.4 Diagrama de bloques rectificador

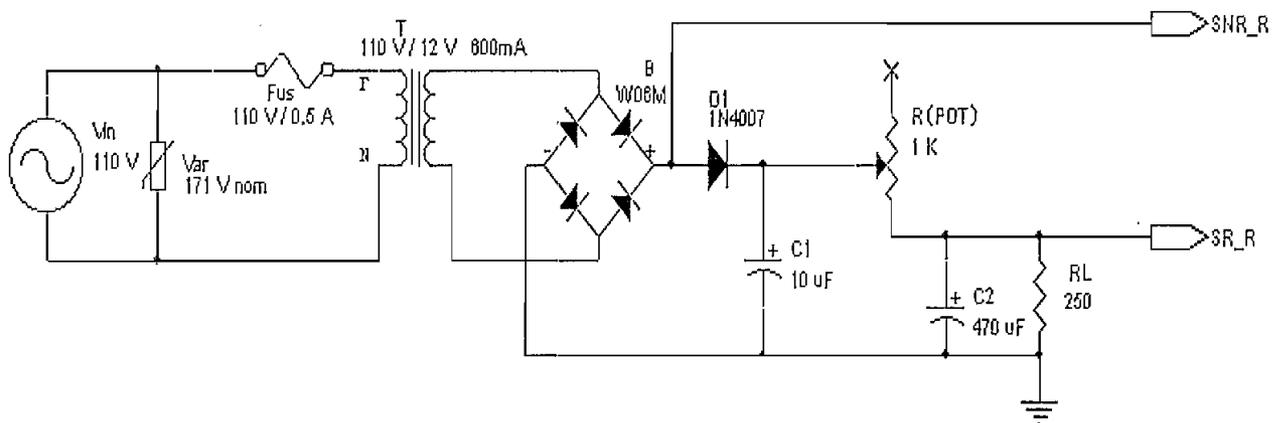


Figura 2.5 Circuito rectificador

La etapa rectificadora por fase consta de un transformador para reducir el voltaje de la red, el puente rectificador y el filtro. La configuración a ser expuesta es la misma para las tres fases R, S, y T.

La señal filtrada a la salida del rectificador denominada como SR_R o Salida Regulada es analizada por el microcontrolador a través del conversor AD del que dispone, cuya variación es de 0 a 5 V. La señal sin filtrar SNR_R o Salida No

Regulada se aplica al acondicionamiento de falla crítica (sobrevoltaje, pico y / o falta de fase), de niveles 0 o 5 V.

Filtro C y RC

Se asume que para $120V_{RMS}$ en la fase corresponde un voltaje de $3V_{DC}$ en la salida filtrada SR_R, para ello se consideran los siguientes datos: Transformador 110V / 12V (relación de transformación 0.11) y $V_{DC} = 3V$.

El voltaje máximo a la salida del puente rectificador, considerando la caída existente en los diodos que conducen en cada semiciclo y el voltaje DC sin filtro se obtienen con las ecuaciones 2.8 y 2.9:

$$V_{msec} = NV_f \sqrt{2} = 18.5 \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$V_{mrec} = (V_{msec} - 2V_T) = 18.5 - 1.2 = 17.31V \quad \text{Ec 2.8}$$

$$V_{DC} = 0.636(V_{msec} - 2V_T) = 11.01V \quad \text{Ec 2.9}$$

V_{msec} = Voltaje pico del secundario

V_{mrec} = Voltaje pico de la señal rectificada

V_T = Voltaje de caída a través de los diodos

V_{DC} = Voltaje DC de la señal rectificada sin filtrar

Para disminuir el rizo presente en el voltaje DC a la salida del puente se utilizan dos filtros: el capacitor C_1 y la sección RC_2 adicional que permite una mejor operación de filtrado. La disminución de rizo implica un menor voltaje de salida DC debido a la caída a través de la resistencia R lo que es adecuado para esta aplicación.

El voltaje DC a través del capacitor C_1 está dado por la ecuación 2.10¹³, de la que se despeja la relación $R_{Leq}C_1$ al fijar un voltaje $V_{DC1} = 10V$:

¹³ Electrónica Teoría de Circuitos. Boylestad, Nashelsky.

$$V_{DC1} = \left(1 - \frac{0.00417}{R_{Leq} C_1} \right) V_{mrec} \quad \text{Ec 2.10}$$

$$R_{Leq} C_1 = 9.06819^{-3}$$

V_{DC1} = Voltaje DC a través del filtro C_1

V_{mrec} = Voltaje pico de la señal rectificada

C_1 = Capacitor del filtro C_1

R_{Leq} = Resistencia de carga equivalente que ve el filtro C_1 conformado por las resistencias en serie $R + R_L$ (R o potenciómetro que conforma el segundo filtro y R_L la carga)

Si $R_{Leq} = 1K\Omega$, el capacitor de valor estándar con el que se cumple la relación es $C_1 = 10\mu F$.

El análisis del filtro adicional se realiza por superposición. Se considera por separado el circuito RC_2 que actúa sobre el nivel DC del voltaje a través C_1 y después la acción de RC_2 sobre el rizo de la señal en C_1 ¹⁴.

Para la operación DC del filtro adicional, la figura 2.6 muestra el circuito equivalente cuando se consideran el voltaje y la corriente en el filtro y la carga. Los dos capacitores son circuitos abiertos, por tanto no se toman en cuenta para el siguiente cálculo.

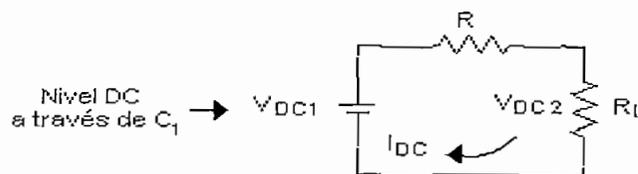


Figura 2.6 Circuito equivalente DC

La ecuación 2.11 refleja el comportamiento del circuito equivalente DC, donde el voltaje V_{DC2} en la salida de la sección RC_2 es atenuado por la red divisora de resistencias R y R_L .

¹⁴ Electrónica Teoría de Circuitos. Boylestad, Nashelsky.

$$V_{DC2} = \frac{R_L}{R_{Leq}} V_{DC1} = \frac{R_L}{R + R_L} V_{DC1} \quad \text{Ec 2.11}$$

V_{DC1} = Voltaje de $10V_{DC}$ a través del filtro C_1

V_{DC2} = Voltaje de $3V_{DC}$ a través de la resistencia de carga y considerada como equivalente a $120V_{RMS}$

R = Resistencia del filtro RC_2

R_L = Resistencia de carga

Al conocer los valores: $V_{DC1} = 10V$ a través del capacitor C_1 , $V_{DC2} = 3V$ como equivalente a $120V_{RMS}$ en la entrada y la resistencia equivalente $R_{Leq} = 1K\Omega$, se obtiene la resistencia de carga R_L a partir de la ecuación anterior:

$$R_L = 297.27\Omega$$

Por lo tanto, se considera: $R_L = 250\Omega$ y $R = 750\Omega$ que se reemplaza por un potenciómetro $POT = 1K\Omega$ para calibrar al voltaje requerido.

En la operación AC del filtro adicional, la entrada a la etapa del primer filtro es el rizo del voltaje en C_1 denominado $V_{\gamma(RMS)}$ que se aproxima a una señal senoidal. Tanto las componentes de la etapa del filtro RC_2 como la resistencia de carga afectan a la señal AC en la salida del filtro.

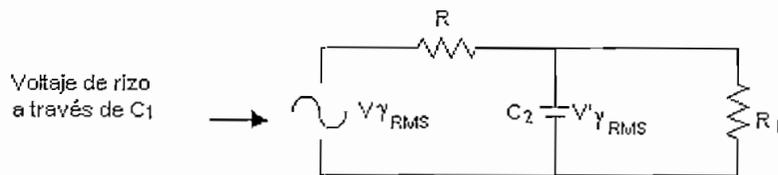


Figura 2.7 Circuito equivalente AC

La atenuación AC en ambos filtros se evalúa mediante las ecuaciones 2.12 y 2.13:

$$V_{\gamma(RMS)} = \frac{0.0024V_{m_{rec}}}{R_{Leq} C_1} \quad \text{Ec 2.12}$$

$$V_{\gamma(RMS)} = 4.15V$$

$$V'_{\gamma(RMS)} \cong \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} V_{\gamma(RMS)} \quad \text{Ec 2.13}$$

C_1 = Capacitor del filtro C_1

R_{Leq} = Resistencia de carga equivalente

$V_{m_{rec}}$ = Voltaje pico de la señal rectificadora

$V_{\gamma(RMS)}$ = Voltaje de rizo debido al filtro C_1 ; los parámetros de esta ecuación se calcularon anteriormente.

$V'_{\gamma(RMS)}$ = Voltaje de rizo debido al filtro RC_2

X_C = Impedancia capacitiva

R = Resistencia del filtro RC_2

Se asume una atenuación debido al filtro adicional $V'_{\gamma(RMS)}$ menor a 0.02V y despejando la impedancia capacitiva de la ecuación 2.13, se puede conocer el capacitor C_2 para un rectificador de onda completa a partir de la ecuación 2.14:

$$X_C = \frac{1326}{C_2} = 2.89\Omega \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$C_2 = 458.57\mu F$$

X_C = Impedancia capacitiva del capacitor C_2

C_2 = Capacitor del filtro adicional RC_2

Conforme al resultado, se asigna el valor $C_2 = 470\mu F$ para el filtro adicional. De esta manera el voltaje que ingresa al PIC tiene un mínimo nivel de rizo.

Transformador y rectificador

Los diodos y el transformador quedarán completamente dimensionados con las ecuaciones:

$$I_{DCd} = \frac{I_{DC}}{2} = \frac{V_{DC1}}{2R_{Leq}} \quad \text{Ec 2.15}$$

$$I_{RMSd} = \frac{NV_f}{\sqrt{2}R_{Leq}} \quad \text{Ec 2.16}$$

$$V_{PIId} > \sqrt{2}NV_f \quad \text{Ec 2.17}$$

$$S_T = \frac{N^2V_f^2}{R_{Leq}} \quad \text{Ec 2.18}$$

I_{DC1} = Corriente DC a través de C_1

V_{DC1} = Voltaje a través de C_1 de 10.09V

I_{DCd} = Corriente DC del diodo

I_{RMSd} = Corriente nominal RMS del diodo

V_{PIId} = Voltaje pico inverso del diodo

I_{picod} = Corriente pico a través del diodo*

R_{Leq} = Resistencia equivalente de $1K\Omega$

NV_f = Voltaje en el secundario de $13.2V_{RMS}$ para una entrada de 120V

S_{prim} = Potencia del primario del transformador

S_{sec} = Potencia del secundario del transformador

S_T = Potencia del transformador

Las especificaciones de los diodos para el rectificador por fase aplicando las ecuaciones 2.15 a 2.17, son:

$$I_{DCd} = 5.45mA$$

$$I_{RMSd} = 9.33mA$$

$$V_{PIId} > 20V$$

* La ecuación correspondiente a este parámetro se indica a continuación

Se toma en cuenta el filtro C_1 y la resistencia de carga equivalente R_{Leq} para analizar la corriente pico I_{picod} que circula por los diodos al momento que se carga C_1 . Los efectos que pudiera provocar el comportamiento de C_2 son minimizados por R y se lo excluye del siguiente análisis.

La corriente promedio de entrada al capacitor es igual a la corriente promedio de salida. La corriente de salida es constante, mientras que la de entrada solo existe en el intervalo de carga del capacitor, al ser pequeño este tiempo, la corriente de entrada son picos de valor elevado.

La figura 2.8 muestra las formas de onda de la corriente en el diodo y el voltaje de salida para un cierto valor de capacitor. Para valores mayores de capacitor el pico de corriente es también mayor.

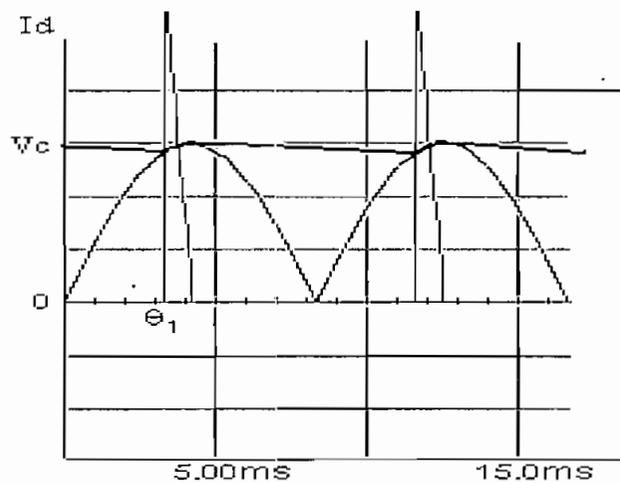


Figura 2.8 Picos de corriente en AC

La corriente máxima del diodo durante el tiempo de carga del capacitor medido en grados se especifica con las ecuaciones 2.19 y 2.20¹⁵:

$$\theta_1 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{4R_{Leq}C_1f - 1}{4R_{Leq}C_1f + 1} \right) \quad \text{Ec 2.19}$$

¹⁵ Dispositivos Electrónicos. Ing. Carlos Novillo.

$$I_{picod} = Vm_{rec} \left(\omega C_1 \cos \theta_1 + \frac{\text{sen} \theta_1}{R_{Leq}} \right) \quad \text{Ec 2.20}$$

$$\omega = 2\pi f$$

θ_1 = Duración en grados de la carga del capacitor C_1

R_{Leq} = Resistencia de carga equivalente de $1K\Omega$

C_1 = Capacitor del filtro C_1 de $10\mu F$

f = Frecuencia de red de 60Hz

Vm_{rec} = Voltaje pico de la señal rectificadora de la Ec. 2.8, cuyo valor es 17.31V

I_{picod} = Corriente pico a través del diodo durante la carga de C_1

Reemplazando los valores de C_1 y R_{Leq} en las ecuaciones anteriores, la corriente máxima que circula por los diodos en cada semiciclo del voltaje de entrada es:

$$\theta_1 = 24.3^\circ$$

$$I_{picod} = 66.59mA$$

La corriente pico es muy alta en comparación a la corriente DC y RMS que circulan por los diodos cuando conducen por lo que es una especificación por demás importante al momento de elegir los diodos que conforman el rectificador. El puente rectificador utilizado W06M de 1.5A, cumple con las características necesarias en el dimensionamiento de los diodos.

La potencia del transformador para el rectificador por fase aplicando la ecuación 2.18, es:

$$S_T = 0.1714 VA$$

El resultado anterior permite definir el transformador para el rectificador por fase con las características: 110 / $12V_{RMS}$, 100mA.

2.3.3 ACONDICIONAMIENTO Y PROTECCIÓN

De este circuito provienen las señales de voltaje reducidas con respecto a las que presente la red de alimentación mediante el transformador descrito en el apartado anterior e ingresan al microcontrolador luego del acondicionamiento respectivo.

El bloque 4 de la figura 2.1 se detalla en el diagrama de la figura 2.9. La configuración a ser expuesta es la misma para las tres fases R, S, y T.

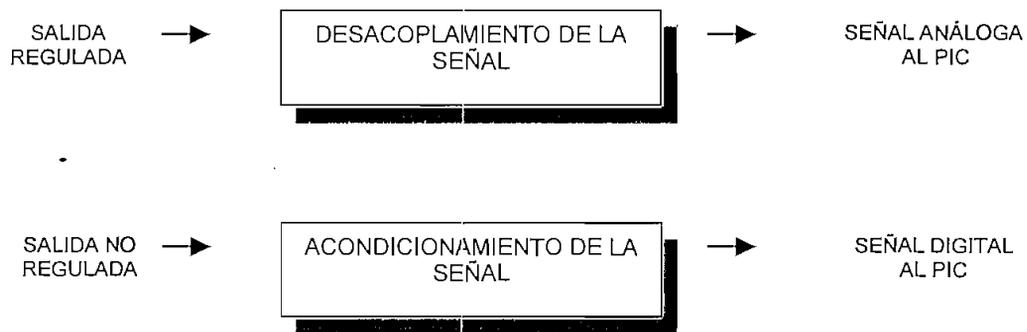


Figura 2.9 Diagrama de bloques acondicionamiento y protección

Acondicionamiento para Voltaje de Fase

Las señales reguladas en cada uno de los circuitos rectificadores ingresan a los pines análogos del microcontrolador, reflejan los voltajes de fase R, S o T y pueden variar entre 0V y 5V.

El voltaje de fase se describe en el diagrama de la figura 2.10 y el circuito correspondiente en la figura 2.11.



Figura 2.10 Diagrama de bloques voltaje de fase

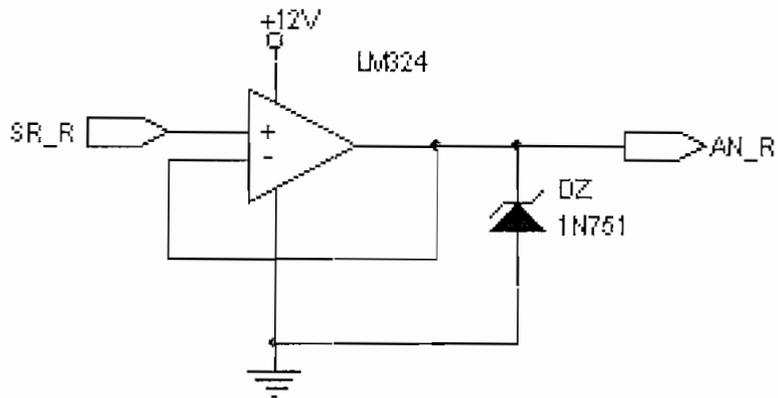


Figura 2.11 Circuito de acondicionamiento voltaje de fase

En el circuito rectificador con filtro se obtiene $3V_{DC}$ que corresponden a $120V_{RMS}$ en cualquiera de las fases.

La señal SR_R o salida regulada ingresa a un operacional LM324 conectado en configuración de emisor seguidor para desacoplar la señal. A la salida del operacional se coloca una protección adicional conformada por un zener 1N751 de 5.1V, 1W.

Los voltajes análogos acondicionados y denominados como AN_R , AN_S y AN_T ingresan a los pines RA0, RA1 y RA3 del microcontrolador para su análisis.

Acondicionamiento para Falla de Red

La Falla de Red ingresa al pin de interrupción del PIC cuyo valor puede ser de 0V (0L) o 5V (1L). Un cambio de estado de 0L a 1L en este pin indica un sobrevoltaje, pico de voltaje y / o falta de fase de R, S o T.

1. Sobrevoltajes y Picos

El diagrama de la figura 2.12 y el circuito de la figura 2.13 muestran el acondicionamiento para sobrevoltajes o picos.

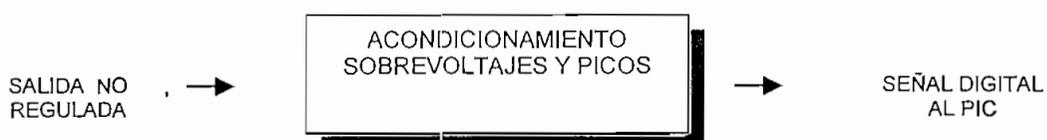


Figura 2.12 Diagrama de bloques sobrevoltajes y picos

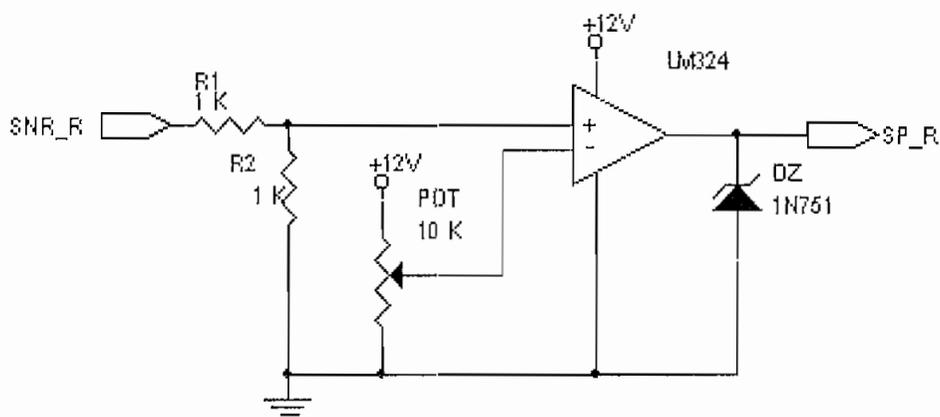


Figura 2.13 Circuito sobrevoltajes y picos

La salida no regulada SNR_R de valor pico 17.31V es reducida a la mitad mediante una red divisora de resistencias $R1 = R2 = 1K\Omega$ que se compara con un nivel de 10.96V dado por el potenciómetro POT de 10K Ω .

Este nivel considera que en la línea el voltaje es de 150V_{RMS}, para voltajes superiores se presenta un sobrevoltaje o un pico mediante el cambio de 0 a 5V debido al zener colocado en la salida del amplificador operacional en configuración de comparador.

Para identificar en que fase se produjo la falla, las salidas que presentan los comparadores y denominadas como SP_R, SP_S y SP_T ingresan a los pines RC0, RC1 y RC2. El pin que tenga un 1L indica la fase en la que se produjo esta falla.

2. Falta de Fase

El diagrama de la figura 2.14 y el circuito de la figura 2.15 indican el acondicionamiento para falta de fase en la que se involucran las tres fases.

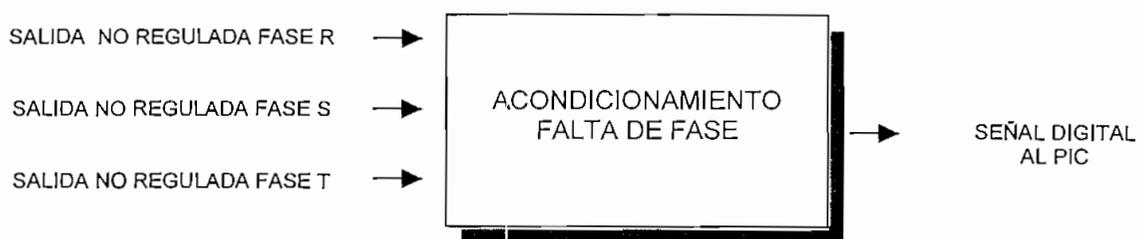


Figura 2.14 Diagrama de bloques falta de fase .

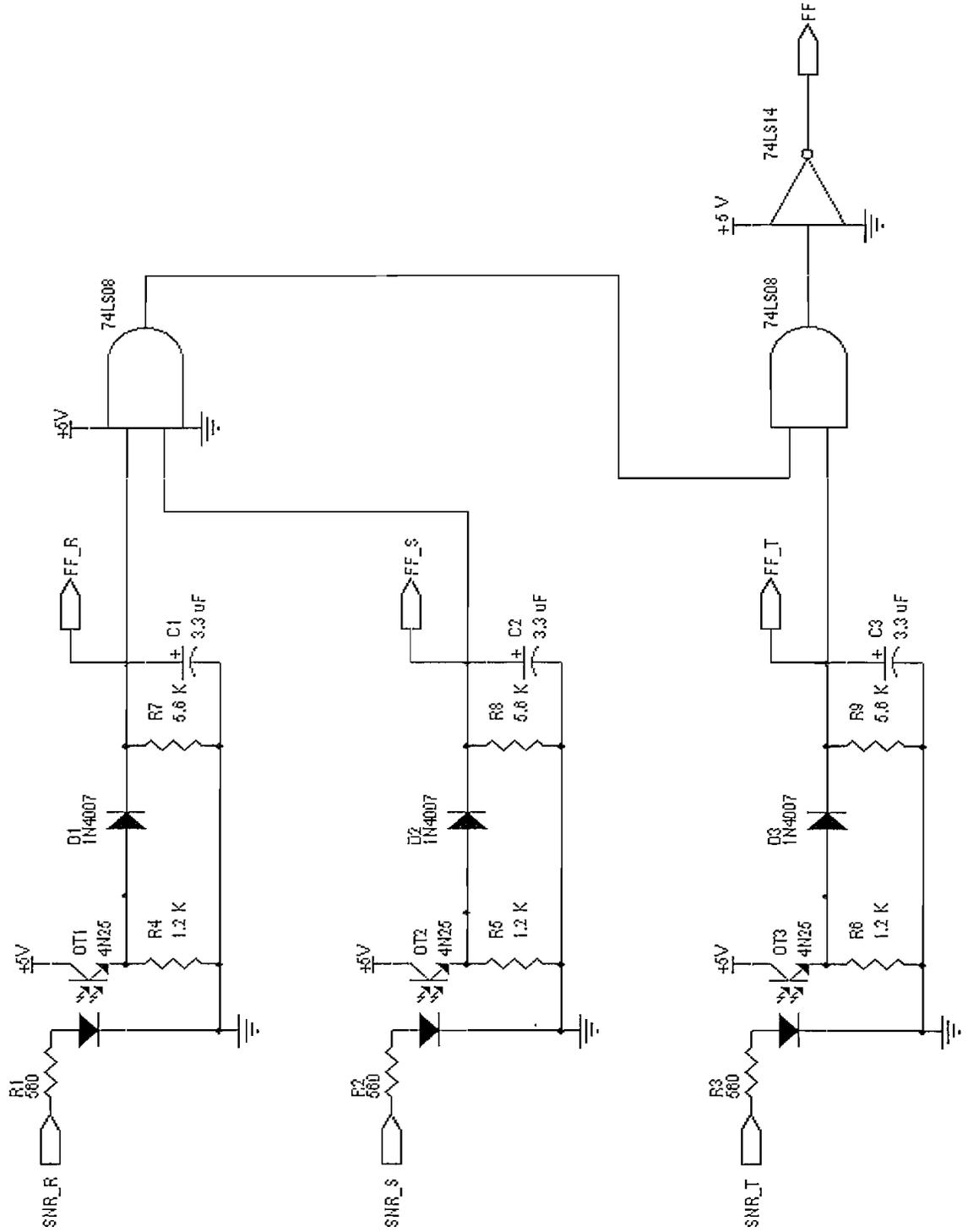


Figura 2.15 Circuito falta de fase

Cada uno de los voltajes a la salida de los rectificadores o señales no reguladas ingresan a opto-transistores 4N25 para obtener pulsos de cruces por cero que varían de 0 a 5V.

Las resistencias de los opto-transistores se obtienen tomando en cuenta el parámetro "DC Current Transfer Ratio": $K = 20\%$ ¹⁶ para estos elementos. El led del opto-transistor se activa cuando circula una corriente mayor a 20mA. Para ello se asume una resistencia $R_1 = 560\Omega$ y la corriente a través del led se obtiene con la ecuación 2.21:

$$i_{1m\acute{a}x} = \frac{Vm_{rec} - V_{led}}{R_1} = \frac{17.31 - 1.5}{560} = 28.23mA \quad \text{Ec 2.21}$$

$i_{1m\acute{a}x}$ = Corriente que circula a través del led

Vm_{rec} = Voltaje pico de la señal rectificada calculada en la Ec 2.8 de 17.31 V

V_{led} = Voltaje a través del led considerada como 1.5 V

R_1 = Resistencia a la entrada del opto-transistor

La corriente del led se transfiere al transistor aplicando el índice K en la ecuación 2.22:

$$i_e = Ki_{1m\acute{a}x} = 0.20 * 28.23 = 5.65mA \quad \text{Ec 2.22}$$

i_e = Corriente que circula por el emisor

$i_{1m\acute{a}x}$ = Corriente que circula a través del led y calculada en la Ec 2.21

K = DC Current Transfer Ratio

El voltaje de polarización del transistor es 5V y la resistencia de emisor se estima mediante la ecuación 2.23:

$$R_4 = \frac{V_{cc}}{i_e} = \frac{5}{5.64} = 885.5\Omega \quad \text{Ec 2.23}$$

¹⁶ Data Sheet 4N25. Fairchild Semiconductor.

R_4 = Resistencia de emisor

V_{cc} = Voltaje de polarización de 5V

i_e = Corriente de emisor obtenida en la Ec 2.22

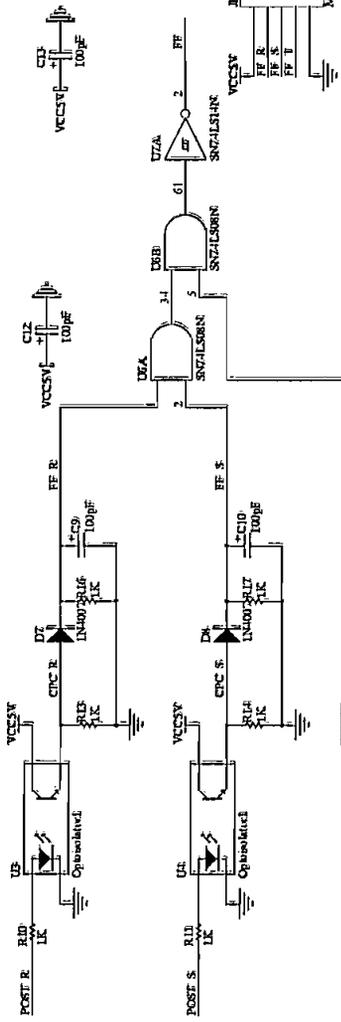
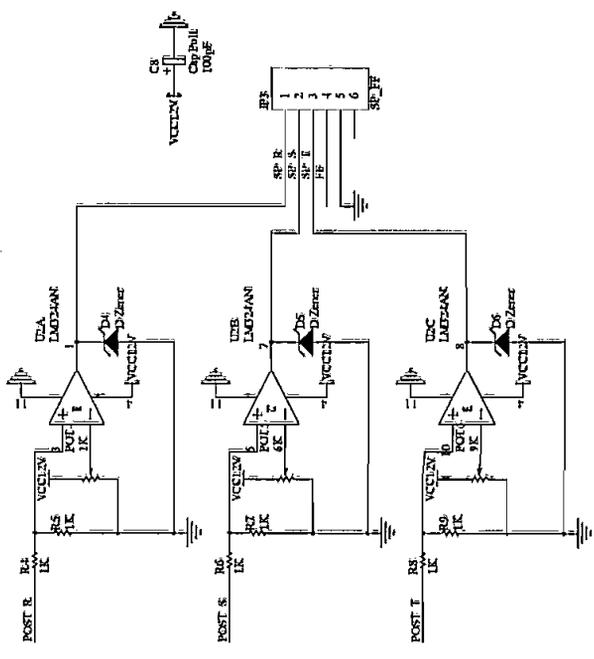
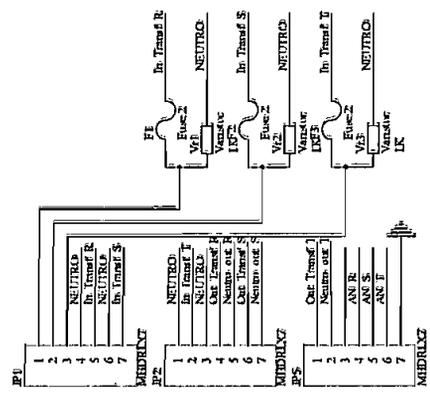
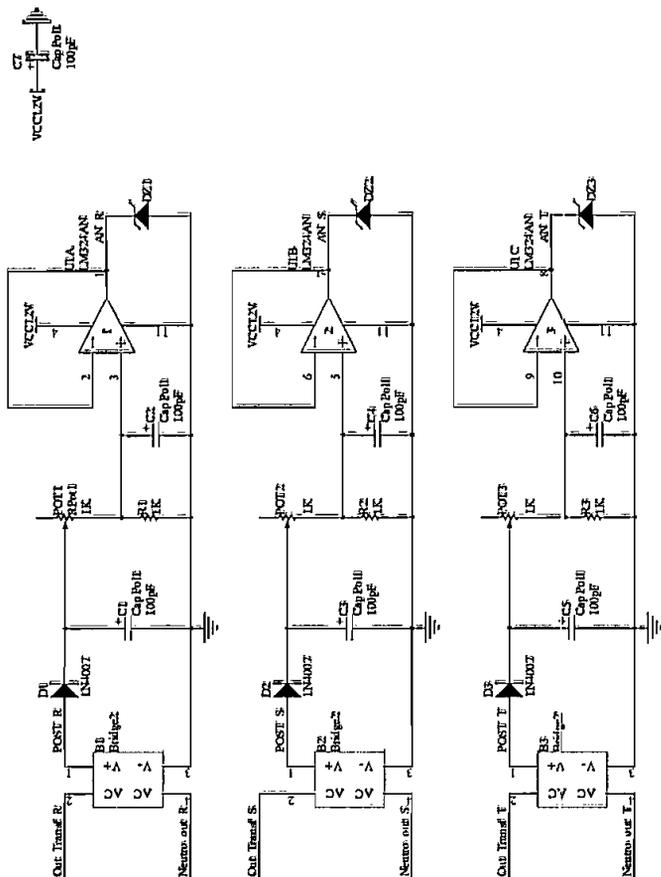
Para obtener los pulsos con un cruce por cero lo más corto posible se asigna a la resistencia de emisor un valor de $1.2K\Omega$. Por lo tanto, se definen las resistencias $R_1 = R_2 = R_3 = 560\Omega$ para los leds y $R_4 = R_5 = R_6 = 1.2K\Omega$ para los emisores de los transistores.

Los pulsos de cada fase pasan a través de los diodos D_1 , D_2 y D_3 1N4007 y se filtran gracias a la redes RC para mantener la señal en 5V o 1L mientras se dan los cruces por cero de las ondas rectificadas siempre y cuando estén presentes los tres voltajes del sistema trifásico.

Si por el contrario hay ausencia de fase no hay pulsos y los capacitores de cada red se descargan a través de las resistencias en forma exponencial como es la naturaleza de estos circuitos. Los valores asignados para cada red RC son $R_7 = R_8 = R_9 = 5.6K\Omega$ y $C_1 = C_2 = C_3 = 3.3\mu F$.

Los tres niveles de 5V ingresan a una compuerta AND 74LS08 cuya salida se invierte a través de una compuerta NOT 74LS14. Si las tres fases existen la compuerta NOT mantiene un 0L en su salida; en cambio, si una o todas las fases caen a cero se genera un flanco positivo de 0 a 5V indicando una falta de fase.

La señal de falta de fase es única y para indicar en que fase se produjo la falla, los voltajes que presenta cada una de las redes RC y denominados como FF_R, FF_S y FF_T ingresan a los pines RC3, RC4 y RC5. El pin que tenga un 0L dará la fase correspondiente que provocó este tipo de falla.



CIRCUITO ANALOGO

Revizao	Number	Title
1	0462003	Sheet of 1A
2	0462003	Sheet of 1A
3	0462003	Sheet of 1A
4	0462003	Sheet of 1A
5	0462003	Sheet of 1A
6	0462003	Sheet of 1A
7	0462003	Sheet of 1A
8	0462003	Sheet of 1A
9	0462003	Sheet of 1A
10	0462003	Sheet of 1A

Drawn By: Manoel Avila

2.3.4 CONTROL

La parte esencial de este circuito es el microcontrolador PIC16F877 que realiza todas las operaciones necesarias para proteger en forma adecuada la carga conectada a la red trifásica.

El microcontrolador recibe las señales acondicionadas, realiza un análisis sobre ellas mediante algoritmos implementados en la memoria de programa y actúa sobre los interruptores que conectan o desconectan la fuente de la carga, sobre los componentes que conforman la interfase con el usuario y la comunicación serial. El bloque 5 de la figura 2.1 se representa en el diagrama de la figura 2.16.

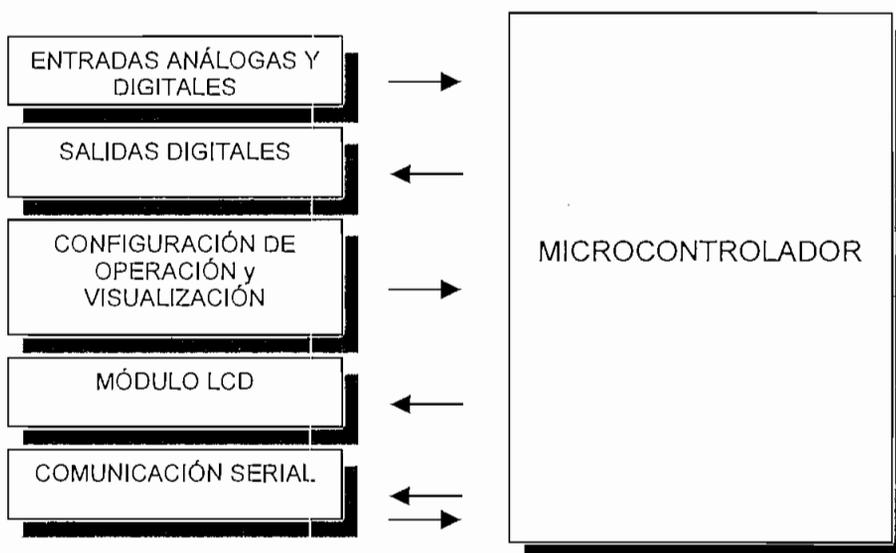


Figura 2.16 Diagrama de bloques para el control

Este circuito consta del microcontrolador con su respectiva polarización, un cristal de oscilación de 20MHz, un circuito de reset, entradas análogas, digitales y salidas digitales, como puede apreciarse en la figura 2.17. A continuación se indican los circuitos periféricos que conforman el circuito de control.

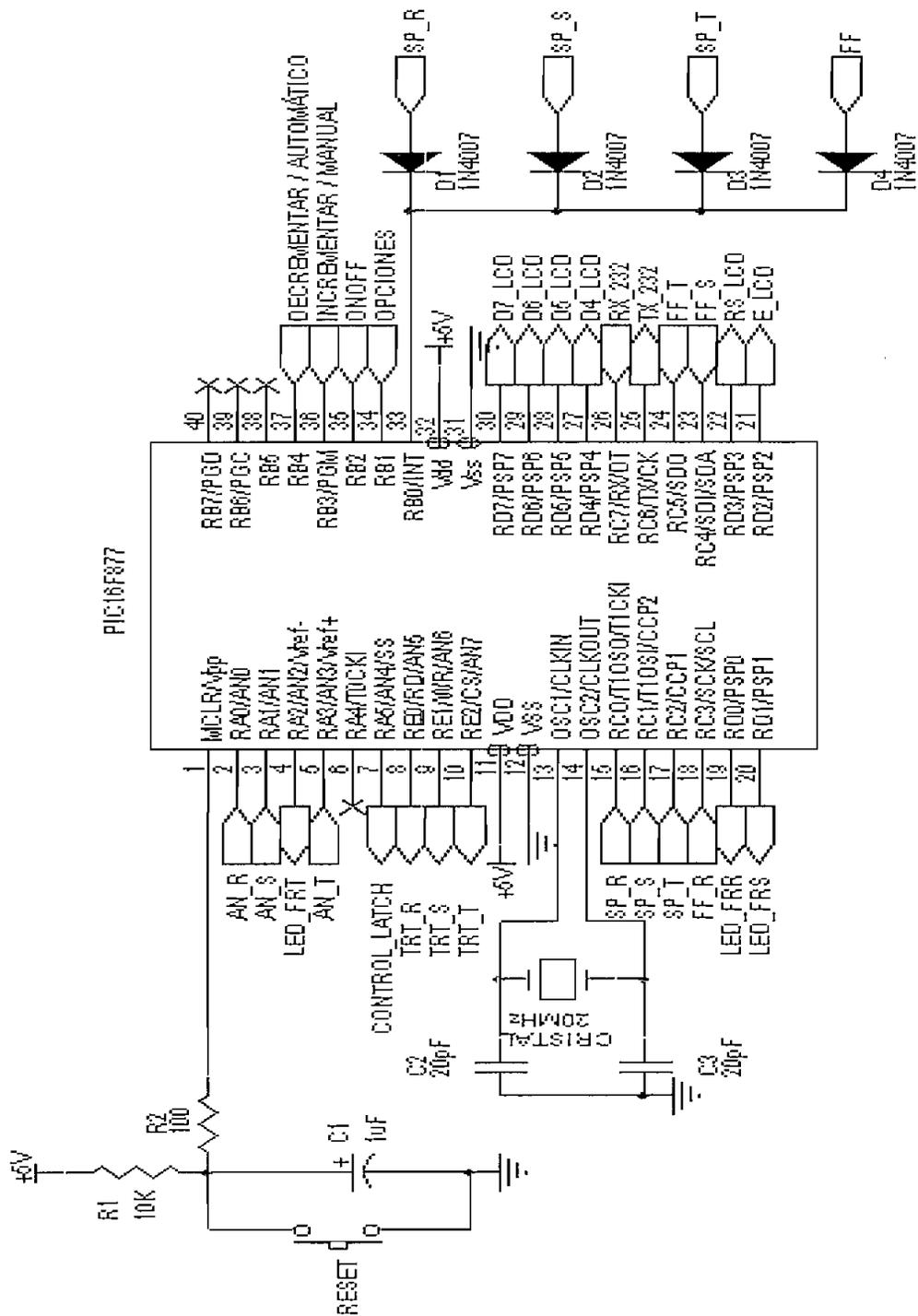


Figura 2.17 Circuito básico de control. Entradas y salidas

1. Entradas Análogas y Digitales

- AN_R, AN_S y AN_T son los voltajes de fase acondicionados e ingresan a los pines RA0, RA1 y RA3.
- SP_R, SP_S, SP_T, FF_R, FF_S y FF_T indican las fallas en los pines RC0, RC1, RC2, RC3, RC4 y RC5. Cabe recalcar que si la falla es un sobrevoltaje los pines correspondientes presentan un 1L y si la falla es una falta de fase los pines se leen como 0L.
- RX_232 señal de recepción para la comunicación serial en el pin RC7.
- OPCIONES, ONOFF, INCREMENTAR/MANUAL, DECREMENTAR/AUTOMÁTICO configuran el modo de operación y seleccionan las variables que se visualizarán en el LCD.

2. Salidas Digitales

- TRT_R, TRT_S y TRT_T señales que activan los interruptores a través de los opto-triacs.
- LED_FRR, LED_FRS y LED_FRT, para los leds indicadores de fuera de rango.
- D7_LCD, D6_LCD, D5_LCD, D4_LCD, RS_LCD y E_LCD, funcionan como señales de datos y de control para el manejo del LCD.
- CONTROL_LATCH, habilita la salida de datos del retenedor (latch) 74LS373.

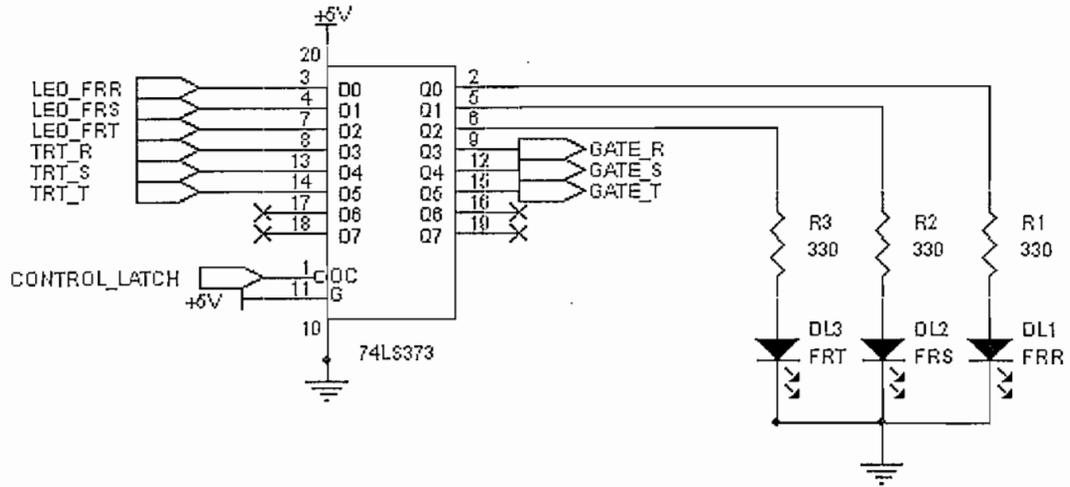


Figura 2.18 · Circuito salidas digitales

3. Configuración de operación y visualización

El circuito de configuración consta de 4 botones pulsadores:

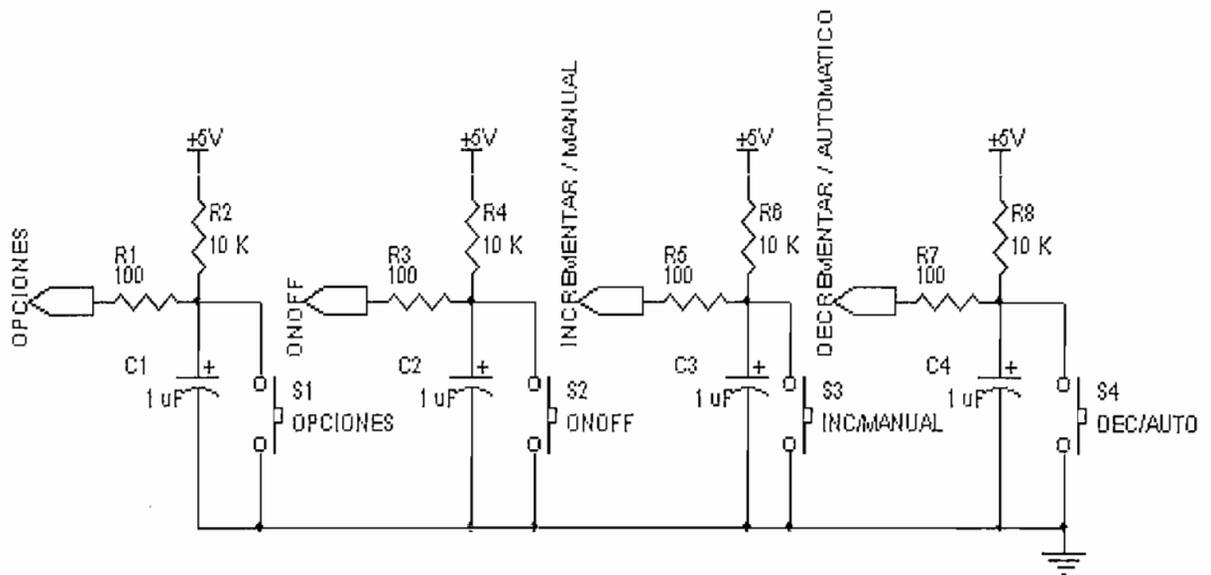


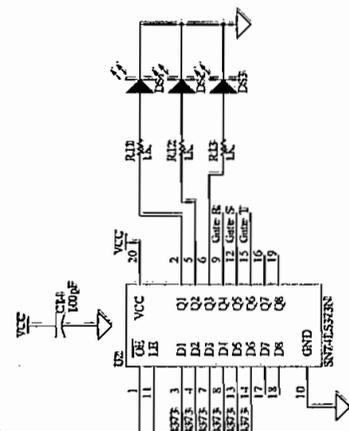
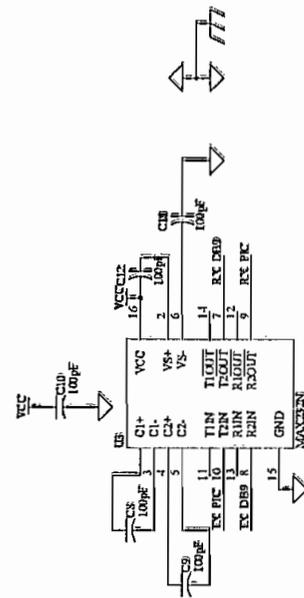
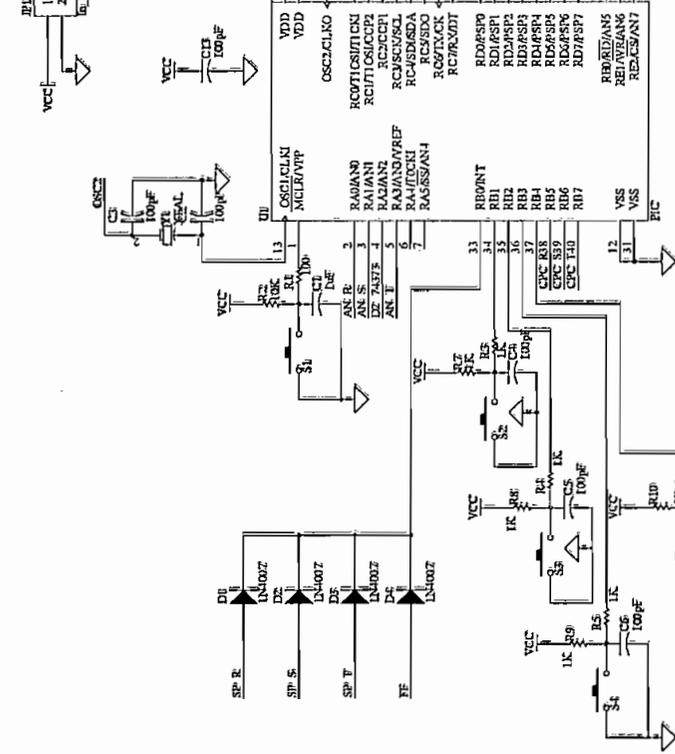
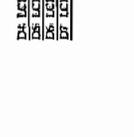
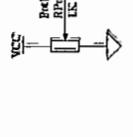
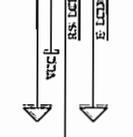
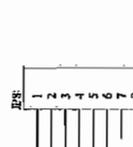
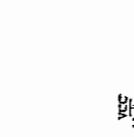
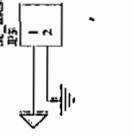
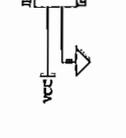
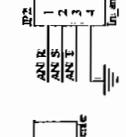
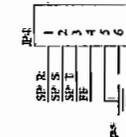
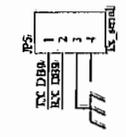
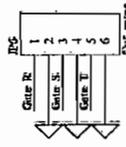
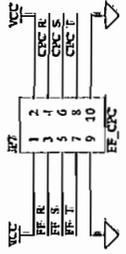
Figura 2.19 Circuito configuración de operación y visualización

- OPCIONES para seleccionar la variable a visualizar en el LCD como es: voltaje de fase, referencia o set point de voltaje, referencia o set point de tolerancia, rango de control, memoria de datos y modo de reconexión con los respectivos valores.
- ONOFF para el encendido o apagado manual de la carga.
- INCREMENTAR/MANUAL, tiene dos funciones: si las opciones son las referencias de voltaje y tolerancia, por cada pulsación se incrementa el voltaje central en 1 o tolerancia en 5; si la opción es Reconexión con este pulsante se elige el modo Manual para la reconexión de los interruptores mediante el pulsante ONOFF al restablecerse la red trifásica luego de una falla.
- DECREMENTAR/AUTOMÁTICO, de igual manera para las referencias, por cada pulsación se decrementa el voltaje central en 1 o la tolerancia en 5 y el modo de Reconexión a elegir con este pulsante es el Automático, que implica que se cierran los interruptores al detectar un voltaje nominal luego de haberse dado una falla sin necesidad del pulsante ONOFF o mediante el control a través del computador.

4. Módulo LCD

El manejo del LCD con interfase de 4 bits es una ventaja al utilizar menos pines para su funcionamiento.

Las señales de habilitación E y de instrucciones o datos RS dependen del microcontrolador, mientras que la señal de lectura o escritura RW es conectada directamente a GND, puesto que solo se escribirá al LCD. Con el potenciómetro de $5K\Omega$ se calibra el contraste de los caracteres que se muestren en el módulo.



Title: CIRCUITO DE CONTROL

Size	Number	Revision
B		
Date:	04/05/2005	Sheet of 2/1
File:	D:\NIVEL\ANAL\Sheet control.SCH\BLOC	Drawn By: Adneco Avila

2.3.5 ACOPLAMIENTO DE SEÑALES DE ACTIVADO

El bloque 6 de la figura 2.1 se describe en el diagrama de la figura 2.22. Para un completo aislamiento eléctrico entre los circuitos de control y potencia se aplica un opto-triac MOC3021.

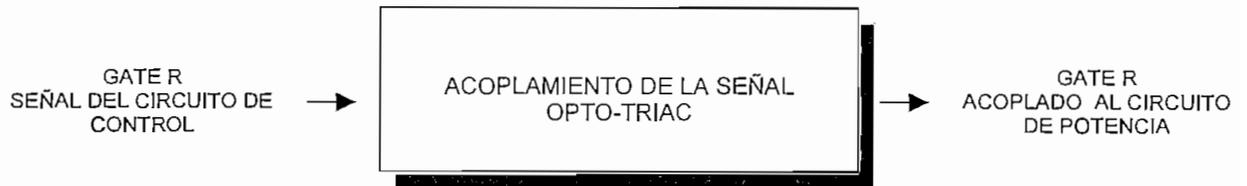


Figura 2.22 Diagrama de bloques acoplamiento de señal

La señal de activación ingresa a través de una resistencia de 330Ω al dispositivo emisor (led) mientras que el receptor (triac) dispara a los elementos de potencia.

2.3.6 POTENCIA. INTERRUPTORES ESTÁTICOS

El bloque 7 de la figura 2.1 se describe en el diagrama de la figura 2.23 y el circuito aplicado se indica en la figura 2.24 que es el mismo para las tres fases.

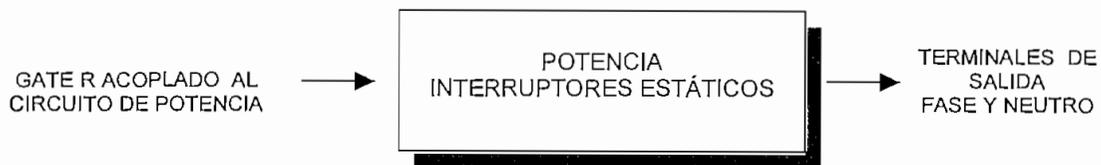


Figura 2.23 Diagrama de bloques potencia

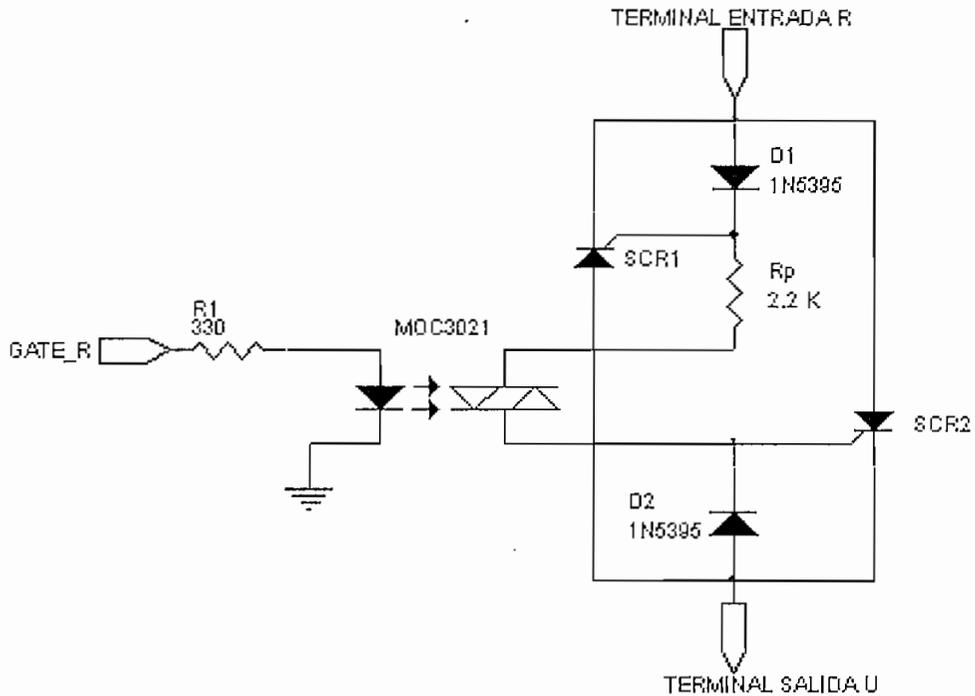


Figura 2.24 Circuito acoplamiento de señales y potencia

El interruptor estático por cada fase, consta de dos SCR's en inverso paralelo con el fin de que conduzca el SCR que esté polarizado en forma directa y su apagado posterior en forma natural conforme a la corriente AC. La activación de los SCR's como se indicó anteriormente se realiza al colocar un 1L en los pines RE0, RE1 y RE2 del microcontrolador.

Esta configuración permite la conexión de una carga resistiva o con componentes inductivos adicionales como es el caso de un motor en estrella o en delta.

Para una carga máxima de 15A se consideran los SCR's S8035K de 35A que cumplen con características adicionales¹⁸ como:

¹⁸ Data Sheet SCR S8035K. Teccor Electronics, Inc.

$I_{T(RMS)}$	35 A	Corriente directa de ánodo a cátodo
I_{GT}	40 mA	Corriente de disparo al Gate
V_{GT}	1.5 V @ 25 °C y 0.2 V @ 125 °C	Voltaje DC de disparo al Gate
t_{gt}	2 μ Sec	Tiempo de activado
t_q	35 μ Sec	Tiempo de apagado

La corriente de compuerta necesaria para activar al SCR que tenga polarización directa se establece gracias a la resistencia R_p :

$$R_p = \frac{V_{fase}}{i_{GT}} = \frac{120}{40} = 3K\Omega \quad \text{Ec 2.24}$$

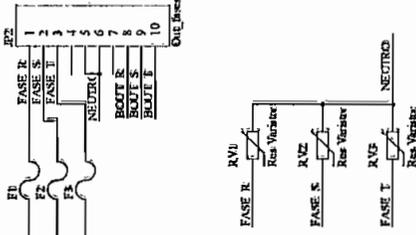
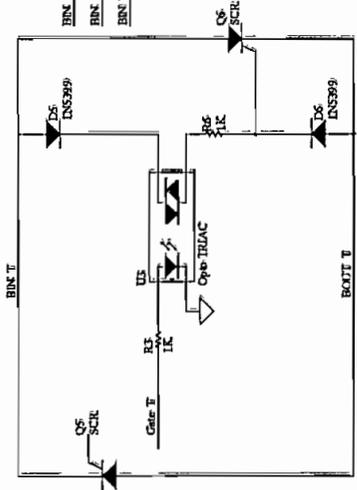
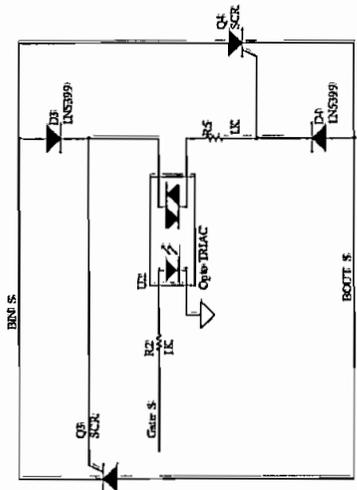
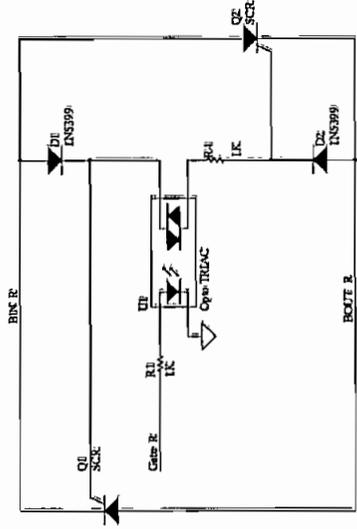
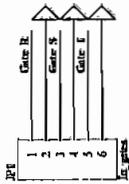
R_p = Resistencia para el activado de los SCR's en antiparalelo

V_{fase} = Voltaje de fase

i_{GT} = Corriente de disparo al gate

Para una corriente mayor se asigna $R_p = 2.2K\Omega$ que permite la circulación máxima de corriente a través del gate de 55 mA. La función de los diodos 1N5395 de 3A es de mantener la señal de habilitación de los SCR's.

El prototipo está diseñado para manejar una carga de hasta 15A, sin embargo se puede ampliar para corrientes más altas de acuerdo a las características que presente el SCR. Para un SCR S8080K de 800V, 80A, $V_{GKmax} = 1.5V$, $I_{Gmax} = 80mA$ con un tiempo de duración del pulso de 2.5 μ s, la resistencia de compuerta se establece a 1.2K Ω .



Title: CIRCUITO DE POTENCIA

Size	Number	Revision
B		
Date:	04/05/2005	Sheet of 07
File:	D:\SILVANA\18007\1\005\SCHEM\0000.Dwg	Author: Anil

2.3.7 PROTECCIONES

Las entradas para todo el sistema se protegen con varistores ubicados entre fase y neutro para eliminar picos de voltaje que se puedan producir en las líneas mayores a un nivel de ruptura de 270V. De esta manera se protege a todo el equipo, incluyendo a la carga

En cada primario de los transformadores se colocan fusibles rápidos de 0.5A / 110V que es lo máximo que consume cada uno de los circuitos que forman parte del acondicionamiento. En el circuito de potencia cada antiparalelo consta también de fusibles de 35A / 110V.

Los elementos integrados que forman parte de los circuitos de acondicionamiento y de control tienen cada uno de ellos un condensador de 0.1 μ F para eliminar los ruidos que puedan contener los voltajes de polarización.

CAPÍTULO 3

Software de Control

CAPITULO 3

SOFTWARE DE CONTROL

3.1 INTRODUCCIÓN

El microcontrolador PIC16F877 realiza la mayoría de tareas especificadas en el capítulo anterior para el control del prototipo Relé de Estado Sólido Microcontrolado RESM conforme a los algoritmos implementados. En general el programa consta de:

Inicialización de los registros auxiliares, banderas y registros de función especial (SFR's) para establecer las entradas, salidas y modo de funcionamiento del microcontrolador. Configuración del módulo LCD mediante instrucciones especiales, presentación de un mensaje inicial. Esta rutina se ejecuta una vez al encender el prototipo

Programa Principal que se repite en forma secuencial durante el funcionamiento permanente del RESM. Consiste en el análisis del voltaje de fase dentro del rango de control establecido. Revisión de los botones pulsadores. Transmisión de datos.

Interrupciones, en las que se establecen tres tipos. Externa debido a las fallas de la red de alimentación. Comunicación Serial al establecer un protocolo de comunicación entre el RESM y el PC. Timer1¹⁹ para generar un retardo de 20 segundos al restablecerse el voltaje después de generarse una falla.

Además se hace referencia al software de aplicación elaborado en Visual Basic que interactúa con el prototipo indicando cada una de las pantallas que lo conforman.

¹⁹ Data Sheet PIC16F87X. Microchip Technology Incorporated

3.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Para una mejor comprensión del programa establecido para el funcionamiento del RESM, se muestran los registros auxiliares y banderas con sus etiquetas o denominaciones, su ubicación en la memoria de datos y su función específica en las tablas 3.1 y 3.2, a continuación.

ASIGNACIÓN DE REGISTROS AUXILIARES

ETIQUETA	DIRECCIÓN	FUNCIÓN
AUXCAMB	20 H	Auxiliar para opciones de seteo y visualización
DATO1	21 H	Auxiliar para del byte MSB del conversor
DATO2	22 H	Auxiliar para del byte MSB del conversor
DATO3	23 H	Auxiliar para del byte MSB del conversor
DATO_GEN	24 H	Auxiliar para transformación de valores
VFIJO	25 H	Auxiliar para el voltaje central
PORCEN1	26 H	Auxiliar para el valor calculado del porcentaje
PORCEN2	27 H	Auxiliar para el valor calculado del porcentaje
VMAXIMO	28 H	Auxiliar para el valor real del voltaje máximo del rango de control
VMINIMO	29 H	Auxiliar para el valor real del voltaje mínimo del rango de control
VMAXIMO1	2A H	Auxiliar para el valor digital del voltaje máximo del rango de control
VMINIMO1	2B H	Auxiliar para el valor digital del voltaje mínimo del rango de control

continúa...

...viene

TOLER	2C H	Auxiliar para la tolerancia del rango de control
VOLT_REAL	2D H	Contiene el valor del voltaje de fase
VRR	2E H	Contiene el valor del voltaje real de fase R
VRS	2F H	Contiene el valor del voltaje real de fase S
VRT	30 H	Contiene el valor del voltaje real de fase T
GENER	31 H	Auxiliar para caracteres numéricos en el LCD
LIMITESUP	32 H	Contiene el <i>límite superior real</i> del rango de control
LIMITEINF	33 H	Contiene el <i>límite inferior real</i> del rango de control
LIMITESUP1	34 H	Contiene el <i>límite superior digital</i> del rango de control
LIMITEINF1	35 H	Contiene el <i>límite inferior digital</i> del rango de control
DIS1	36 H	Valor numérico MSB enviado al LCD
DIS2	37 H	Valor numérico INTERMEDIO enviado al LCD
DIS3	38 H	Valor numérico LSB enviado al LCD
SUM1_H	39 H	Registros subrutina SUMA
SUM1_L	3A H	Registros subrutina SUMA
SUM2_H	3B H	Registros subrutina SUMA
SUM2_L	3C H	Registros subrutina SUMA
SUMTOTAL_H	3D H	Registros subrutina SUMA
SUMTOTAL_L	3E H	Registros subrutina SUMA
RESTAMIN1	3F H	Registros subrutina RESTA
RESTAMIN2	40 H	Registros subrutina RESTA

continúa...

...viene

RESTASUS1	41 H	Registros subrutina RESTA
RESTASUS2	42 H	Registros subrutina RESTA
MCANDO_L	43 H	Registros subrutina MULT
MCANDO_H	44 H	Registros subrutina MULT
MCADOR_L	45 H	Registros subrutina MULT
MCADOR_H	46 H	Registros subrutina MULT
MULT_3	47 H	Registros subrutina MULT
MULT_2	48 H	Registros subrutina MULT
MULT_1	49 H	Registros subrutina MULT
MULT_0	4A H	Registros subrutina MULT
CONT_1	4B H	Registros subrutina MULT
AUX_H	4C H	Registros subrutina MULT
AUX_L	4D H	Registros subrutina MULT
DIVIDL	4E H	Registros subrutina DIVISION
DIVIDH	4F H	Registros subrutina DIVISION
RTL	50 H	Registros subrutina DIVISION
RTH	51 H	Registros subrutina DIVISION
AUXL	52 H	Registros subrutina DIVISION
AUX	53 H	Registros subrutina DIVISION
DIVISL	54 H	Registros subrutina DIVISION
DIVISH	55 H	Registros subrutina DIVISION

continúa...

...viene

DIVISOH	56 H	Registros subrutina DIVISION
DIVISOR	57 H	Registros subrutina DIVISION
CONTA	58 H	Registros subrutina DIVISION
REG_RETARDO1	59 H	Registros para los retardos
REG_RETARDO2	5A H	Registros para los retardos
REG_3S	5B H	Registros para los retardos
REG_2S	5C H	Registros para los retardos
REG_1S	5D H	Registros para los retardos
REG_100mS	5E H	Registros para los retardos
REG_50uS	5F H	Registros para los retardos
REG_20uS	60 H	Registros para los retardos
REG_POR	61 H	Registros para el retardo inicial
REG_SEG	62 H	Registros para el retardo de reconexión
DATO_LCD	63 H	Registros para el LCD
CONTADOR	64 H	Registros para el LCD
PUNTERO	65 H	Registros para el LCD
AUXONOFF	66 H	Auxiliar para el encendido o apagado de los SW's de potencia
AUXABRIR_SW	67 H	Auxiliar para el análisis de fuera de rango
AUXABRIR_INT	68 H	Auxiliar para el análisis de falla de red
AUXFASES	69 H	Identificador de fase

continúa...

...viene

AUXPUERTOC	6A H	Auxiliar para el puerto C
AUXMO	6B H	Auxiliar para el modo de reconexión
CONTROL_ONOFF	6C H	Control del pulsante ONOFF
CONTROL_SELECT	6D H	Control del pulsante SELECT
CONTROL_INC	6E H	Control del pulsante INC
CONTROL_DEC	6F H	Control del pulsante DEC
CONTROL_MANUAL	70 H	Control del pulsante MANUAL
CONTROL_AUTO	71 H	Control del pulsante AUTOMÁTICO
W_TEMP	72 H	Temporal para guardar el acumulador
STATUS_TEMP	73 H	Temporal para guardar el registro STATUS
PCLATH_TEMP	74 H	Temporal para guardar el registro PCLATH
DIR_EE	75 H	Auxiliar que lleva la dirección de la memoria EEPROM
DATO_EE	76 H	Auxiliar que lleva el dato a guardar en EEPROM
PORMEM	77 H	Auxiliar que contiene el porcentaje al que se encuentra ocupada la memoria EEPROM

Tabla 3.1 Denominación de registros auxiliares y su ubicación en la memoria de datos

ASIGNACIÓN DE BANDERAS

ETIQUETA	DIRECCIÓN	FUNCIÓN
RS_LCD	PORTD,3	Control del LCD
E_LCD	PORTD,2	Habilitación del LCD
OE	PORTA,5	Habilitación del retenedor o latch 74LS373
0X7B,7	7B H	Bit 7 indica que se ha completado 20 segundos
0X7C,1 0X7C,2 0X7C,4 0X7C,5	7C H	Bit 1 indica SW's ON o SW's OFF; bit 2 indica una falla de red, bit 4 modo automático desde PC, bit 5 modo manual desde PC
7D H	7D H	Auxiliar para diferenciar entre un fuera de rango y una falla crítica
7E H	7E H	Auxiliar para guardar fallas en EEPROM
0X7F,1 0X7F,3 0X7F,4 0X7F,5	7F H	Bit1 como los demás bits de 7EH para guardar fallas en EEPROM, bit 3 para descargar fallas a PC, bit 4 para controlar los interruptores desde PC, bit 5 para enviar variables a PC

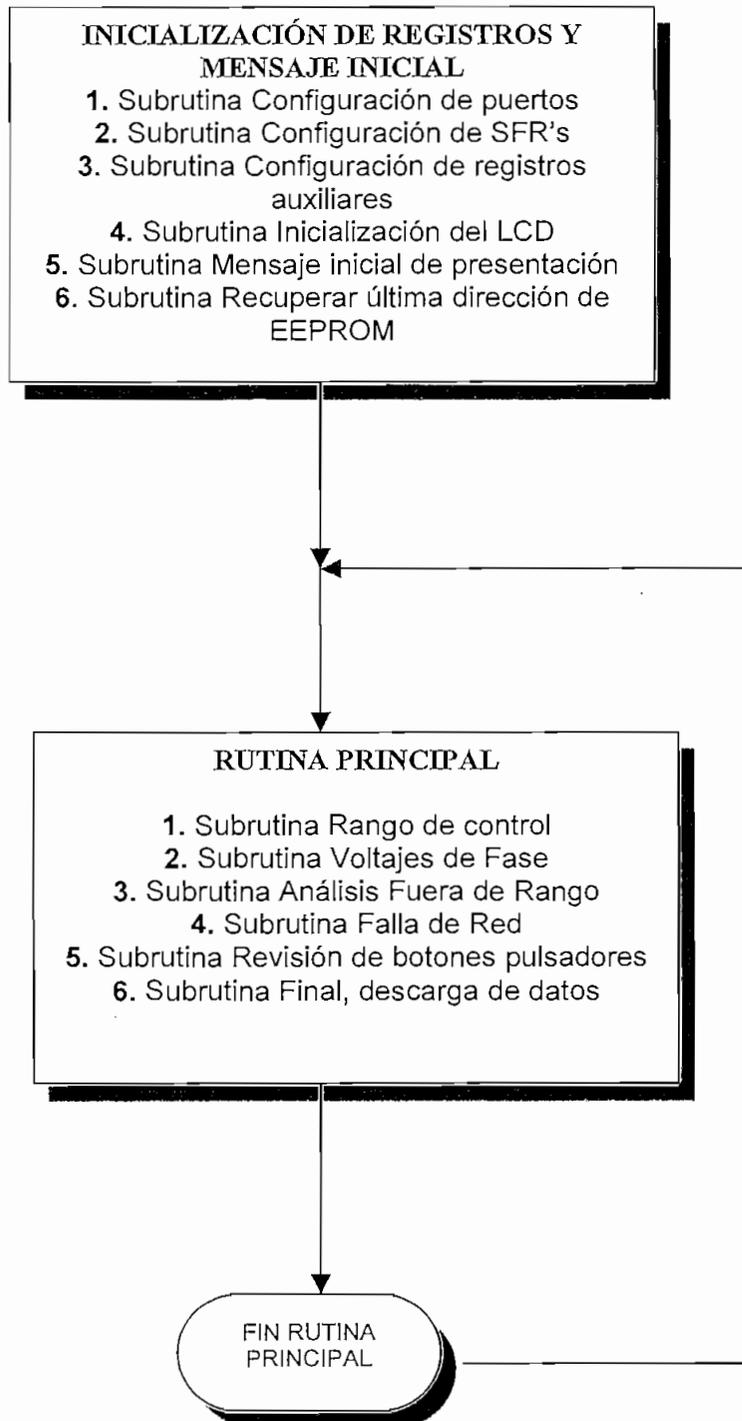
Tabla 3.2 Asignación de banderas

El programa completo integrado por el rutina principal, las rutinas de interrupciones, las subrutinas generales se distribuyen en 3 páginas de la memoria de programa de acuerdo con la figura 3.1 y el diagrama de bloques correspondiente en el que se identifica en forma general las rutinas a realizar en la figura 3.2.

<p style="text-align: center;">Vector Reset Salto Inicialización</p>	0000H
<p style="text-align: center;">Vector Interrupción Salto Interrupciones</p>	0004H
<p style="text-align: center;">Página 0</p> <p style="text-align: center;">Tablas, Caracteres alfanuméricos y mensajes de fallas</p> <p style="text-align: center;">RUTINA INICIALIZACIÓN Y MENSAJE INICIAL</p> <p style="text-align: center;">RUTINA INTERRUPTACIONES</p> <p style="text-align: center;">Salto Rutina Principal</p>	0005H 07FFH
<p style="text-align: center;">Página 1</p> <p style="text-align: center;">RUTINA PRINCIPAL</p>	0800H 0FFFH
<p style="text-align: center;">Página 2</p> <p style="text-align: center;">SUBRUTINAS GENERALES</p>	1000H 17FFH
<p style="text-align: center;">Página 3</p>	1800H 1FFFH

Figura 3.1 Distribución del programa completo en la memoria de programa

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA DE CONTROL



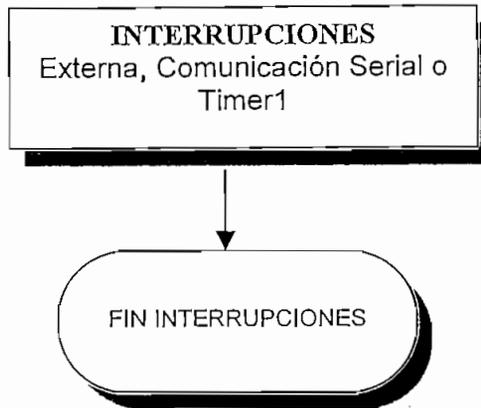


Figura 3.2 Diagrama de bloques del programa completo. Inicialización, rutina principal e interrupciones

3.2.1 INICIALIZACIÓN DE REGISTROS Y MENSAJE INICIAL

Esta sección del programa se ubica en la página 0 y comienza deshabilitando el retenedor (latch) 74LS373, poniendo a 1L la bandera OE para evitar el activado momentáneo y no controlado de los interruptores al momento del encendido del RESM, se genera un retardo de 100 milisegundos para garantizar el reset interno del microcontrolador en el encendido (Power on Reset). Luego del retardo la bandera OE es 0L para habilitar el retenedor. A continuación se detalla las subrutinas a ser ejecutadas en la inicialización del programa de control.

1. Configuración de puertos

- En el Puerto A se establecen tres entradas analógicas para detectar los voltajes de fase y dos salidas digitales para el encendido del led indicador de fuera de rango para la fase T y la señal de habilitación del retenedor.

- En el Puerto B se tienen cinco pines como entradas, para la interrupción externa al detectar fallas y cuatro botones pulsadores que configuran el modo de operación y visualización.
- En el Puerto C se configuran seis entradas para detectar las fallas por fase, una entrada y una salida por recepción y transmisión serial respectivamente.
- En el Puerto D, seis salidas de datos y control para el módulo LCD y dos adicionales para los leds indicadores de fuera de rango de las fases R y S.
- Y en el Puerto E, los tres pines accesibles se configuran como salidas para las señales de activado de los interruptores.

La tabla 3.3 expone la configuración de los puertos.

CONFIGURACIÓN DE PUERTOS

REGISTRO←VALOR	DESCRIPCIÓN
TRISA←B'11001011'	Bits 0, 1 y 3 del Puerto A como entradas analógicas y los bits 2 y 5 como salidas digitales.
TRISB←B'11111111'	Todos los bits del Puerto B como entradas.
TRISC←B'10111111'	Bits del Puerto C como entradas excepto del bit 6 que es salida.
TRISD←B'00000000'	Todos los bits del Puerto D como salidas.
TRISE←B'00000000'	Todos los bits del Puerto E como salidas.

Tabla 3.3 Configuración de puertos. Entradas y salidas

2. Configuración de SFR's

Para el funcionamiento de los elementos incorporados en el microcontrolador se configuran los registros de función especial asociados a tales elementos; entre ellos:

- El Conversor A/D para la lectura de los tres voltajes proporcionales a los que presente las líneas de alimentación; el resultado de la conversión es justificado a la izquierda y el reloj del conversor se especifica como $F_{osc}/32$ para el cristal de 20MHz con el que opera el microcontrolador.
- El Timer1 genera un retardo aproximado de 20 segundos una vez normalizado el voltaje después de producirse una falla a fin de reconectar los interruptores.
- El Módulo USART o de comunicación serial asincrónico habilitado para generar interrupción por recepción y establecido para transmitir o recibir ocho bits por dato a una velocidad de 9600 bps.
- Configuración de la Interrupción Externa por flanco positivo y habilitación de todas las interrupciones.

Los valores con los que se inician los SFR's destinados para las funciones de los elementos del microcontrolador antes descritos se pueden ver en la tabla 3.4.

CONFIGURACIÓN DE REGISTROS DE FUNCIÓN ESPECIAL

REGISTRO←VALOR	DESCRPCIÓN
ADCON0←B'10000001'	La frecuencia de oscilación es Fosc/32 (bit 7 y 6), los canales analógicos se eligen en el programa principal y se habilita el módulo CAD (bit 0).
ADCON1←B'00000100'	El resultado del convertor es justificado a la izquierda (bit 7) y se escoge 3 canales análogos, el resto son digitales.
T1CON←B'00110000'	Divisor de frecuencia asignado 1:8, reloj interno
RCSTA←B'10010000'	El puerto serial es habilitado (bit 7) para recibir 8 bits por dato (bit 6) de forma continua (bit 4).
TXSTA←B'00100100'	La transmisión es habilitada (bit 5) a 8 bits por dato (bit 6) en modo asincrónico (bit 4) a alta velocidad (bit 2).
OPTION_REG←B'11000000'	Pull-ups deshabilitadas (bit 7) e interrupción externa por flanco positivo (bit 6).
INTCON←B'01010000'	Habilitación de interrupciones periféricas y externa bits 6 y 4 respectivamente.

Tabla 3.4 Configuración de SFR's

3. Configuración de registros auxiliares

Los registros de la tabla 3.5 se inicializan con los valores asignados que pueden ser constantes o variar conforme la ejecución del programa. Los registros que no constan en esta tabla tienen un valor de cero.

CONFIGURACIÓN DE REGISTROS AUXILIARES

ETIQUETA←VALOR	DESCRIPCIÓN
REG_SEG←200D	Para generar el retardo de 20 seg
REG_3S←96H	Para generar el retardo de 3 seg
REG_2S←64H	Para generar el retardo de 2 seg
REG_1S←32H	Para generar el retardo de 1seg
REG_100mS←05H	Para generar el retardo de 100 mseg
REG_50uS←4CH	Para generar el retardo de 50microseg
REG_20uS←23H	Para generar el retardo de 20microseg
VFIJO←120D	Valor inicial del voltaje central del rango de control
TOLER←20D	Valor inicial del porcentaje
LIMITESUP←145D	Valor fijo para límite superior real del rango de control
LIMITEINF←95D	Valor fijo para límite inferior real del rango de control
LIMITESUP1←187D	Valor fijo para límite superior digital del rango de control
LIMITEINF1←122D	Valor fijo para límite inferior digital del rango de control

Tabla 3.5 Configuración de registros auxiliares

4. Inicialización del módulo LCD

El LCD permite visualizar en su pantalla los mensajes alfanuméricos que el RESM presentará durante su funcionamiento. Requiere un conjunto especial de instrucciones para su configuración y operación.

El microcontrolador envía los datos y controla los pines E y RS del módulo mediante las banderas E_LCD (pin 21 RD2) y RS_LCD (pin 22 RD3) para la habilitación y el control del LCD. El manejo del LCD es mediante una interfase de 4 bits de datos o instrucciones asignado a la parte alta del puerto D: RD4, RD5, RD6 y RD7.

Las instrucciones de la tabla 3.6 deben ser ejecutadas por el LCD antes de su funcionamiento normal.

CONFIGURACIÓN DEL MODO DE TRABAJO DEL LCD

INSTRUCCIÓN	RS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
Function Set	0	2CH	Interfase de 4 bits, 2 líneas , carácter 5x10
Display ON/OFF	0	0CH	Display On, Cursor OFF
Entry mode set	0	06H	Movimiento incremental del cursor, mensaje fijo
Borrar pantalla	0	01H	Borrado del display y retorno del cursor a la posición inicial

Tabla 3.6 Instrucciones para el modo de trabajo del módulo LCD

Una vez configurado el modo de trabajo se pueden enviar los datos. Puesto que se utilizan solo cuatro líneas es necesario enviar primero los cuatro bits altos y luego los cuatro bits bajos del dato mediante la subrutina de escritura al LCD.

En la subrutina denominada ESCRIBIR_LCD y ubicada también en el banco 0, se toman los bits altos del registro DATO_LCD que contiene la instrucción o dato a mostrar y se los coloca en RD4, RD5, RD6 y RD7 sin cambiar los pines restantes del puerto D que tienen otras funciones. Se habilita el LCD seteando la bandera E_LCD, se genera un retardo de 50 μ seg luego de lo cual el periférico es deshabilitado. Para los bits bajos se procede de la misma manera.

Sí el código es una instrucción, la bandera RS_LCD es 0L , se ejecuta la rutina de escritura con un retardo adicional de 2mseg. Si el código es un dato, RS es 1L para dar paso a la escritura en el LCD. El dato no requiere el retardo adicional.

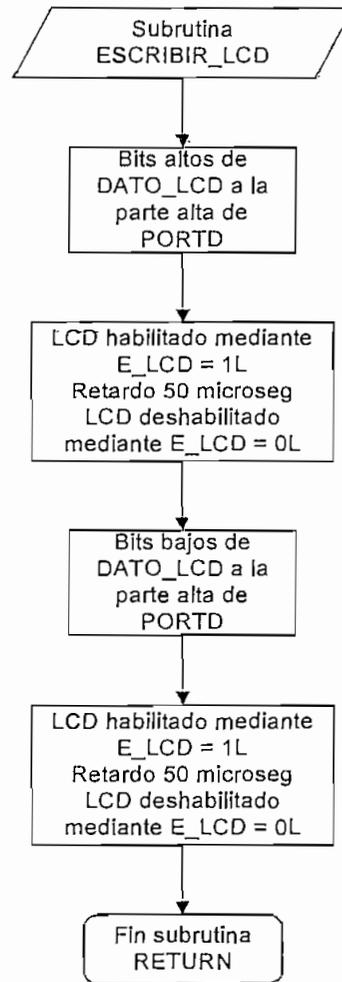


Figura 3.3 Diagrama de flujo subrutina de escritura al LCD

5. Mensaje Inicial de Presentación

Consta de seis secuencias a visualizar en el LCD cada una con un tiempo de 3 seg para su lectura. Los mensajes son:

SUPERVISION TRIFÁSICA

Variables
Voltaje de Fase

Variables
Rango de Control

Variables
S.P de Voltaje

Variables
S.P. de Tolerancia

Asigne
rango de control

6. Última dirección de EEPROM

Para finalizar esta sección del programa completo, se recupera de la localidad 255 de la memoria EEPROM el valor de la dirección que se guarda permanentemente al

auxiliar DIR_EE, para almacenar en forma consecutiva los eventos que se generen durante el control del prototipo.

Lo que resta del banco 0 está ocupado por tablas, subrutinas de mensajes y rutinas de interrupción.

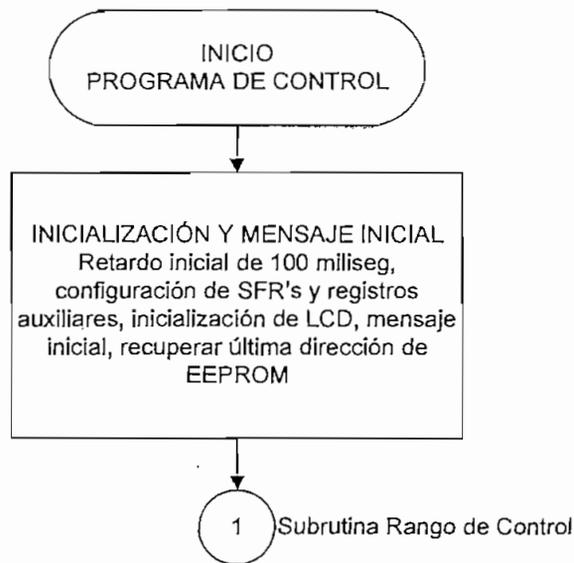


Figura 3.4 Diagrama de flujo inicialización y mensaje inicial

3.2.2 RUTINA PRINCIPAL

Los valores reales o digitales que se mencionará hacen referencia al voltaje digital obtenido en la conversión AD y utilizado para detectar un fuera de rango, mientras que el voltaje real se visualiza en el LCD. Tales valores se consiguen con las subrutinas generales Transformar y Transformar 2 a ser descritas en lo posterior.

En la rutina principal ubicada en la página 1 de la memoria de programa se establecen las subrutinas a realizar.

1. Rango de Control

En el rango de control, se calculan los voltajes máximo y mínimo que forman este rango mediante el uso de las subrutinas generales de suma, resta, multiplicación y división ubicadas en el banco 3.

- Se toma en cuenta los registros VFIJO y TOLER para obtener el porcentaje a sumar y restar del voltaje central del rango VFIJO, y establecer los límites superior e inferior.
- Si el rango de control o banda de seguridad excede los límites dados por los valores fijos que contienen los registros LIMITESUP (147V) y LIMITEINF (104V), la banda se acorta a cualquiera de estos valores.
- VMAXIMO y VMINIMO registran los valores finales y reales superior e inferior de la banda de seguridad establecida según las consideraciones anteriores.
- VMAXIMO1 y VMINIMO1 contienen los valores finales y digitales superior e inferior de la misma banda al aplicar la subrutina TRANSFORMAR.
- El rango de control por default de 100 V a 140 V, se define con los valores iniciales de los registros VFIJO y TOLER, el mismo que puede cambiar conforme los requerimientos de la carga a proteger.

El diagrama de flujo del rango de control se describe en la figura 3.5. El terminal 8 de la figura a continuación proviene de la parte final de la rutina principal.

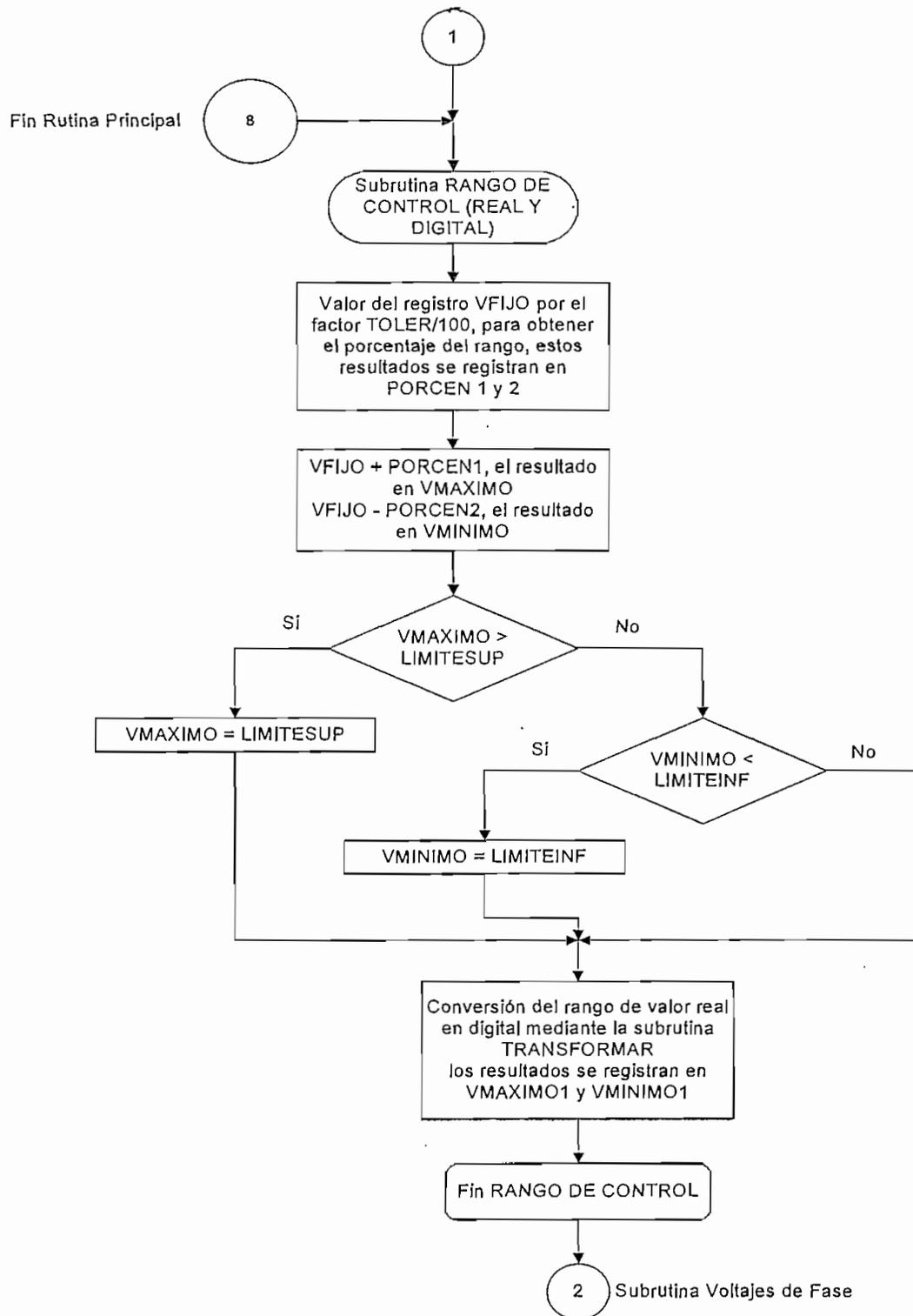


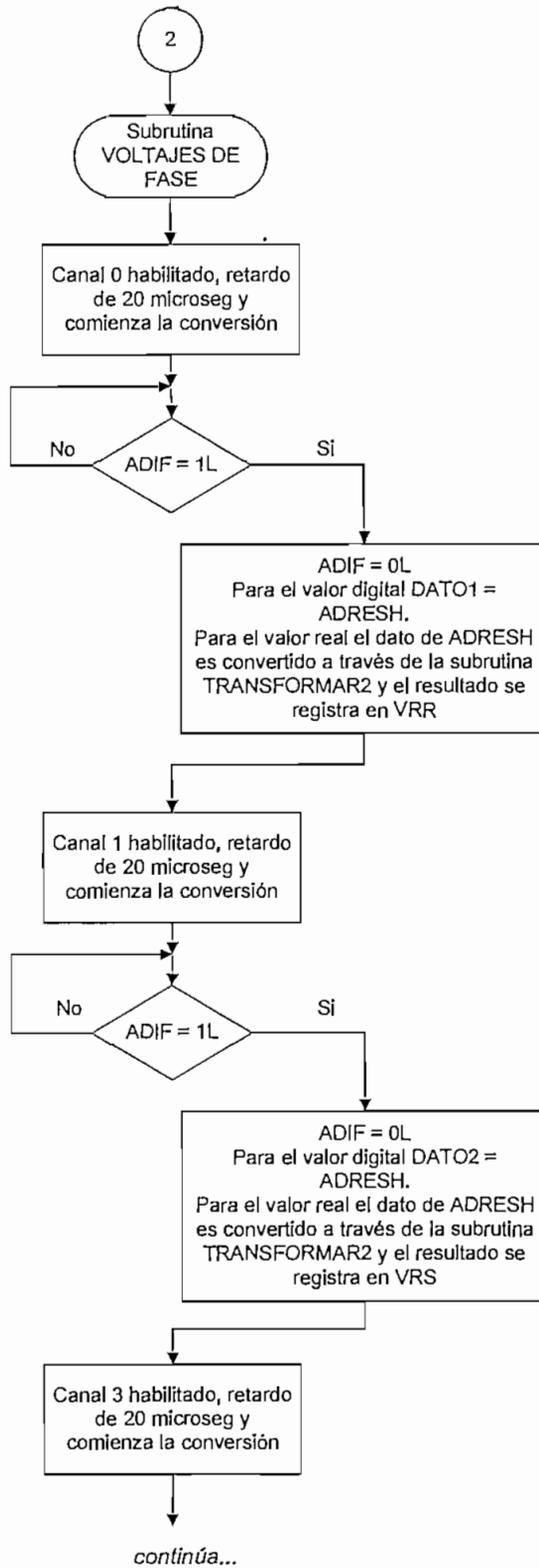
Figura 3.5 Diagrama de flujo rango de control

2. Voltajes de Fase

Consiste en la conversión del valor analógico correspondiente al acondicionamiento del voltaje de fase para su análisis.

- La conversión se realiza para cada fase habilitando el canal analógico correspondiente:
 - Canal 0 para el voltaje acondicionado de la fase R.
 - Canal 1 para el voltaje acondicionado de la fase S.
 - Canal 3 para el voltaje acondicionado de la fase T.
- Antes de arrancar la conversión el tiempo de adquisición necesario con un cristal de 20 MHz es 20 μ seg. El final de la conversión se indica con la bandera ADIF = 1L e inmediatamente se borra.
- El valor en ADRESH se guarda en los registros DATO1 para la fase R, DATO2 para la fase S y DATO3 para la fase T con los que en lo posterior se realizará el análisis de fuera de rango.
- Los datos en digital de ADRESH son también convertidos en valor real gracias a la subrutina TRANSFORMAR2 que devuelve los voltajes reales para ser registrados en los auxiliares VRR, VRS y VRT a ser visualizados en el LCD.

La figura 3.6 representa el diagrama de flujo de la rutina para los voltajes de las tres fases.



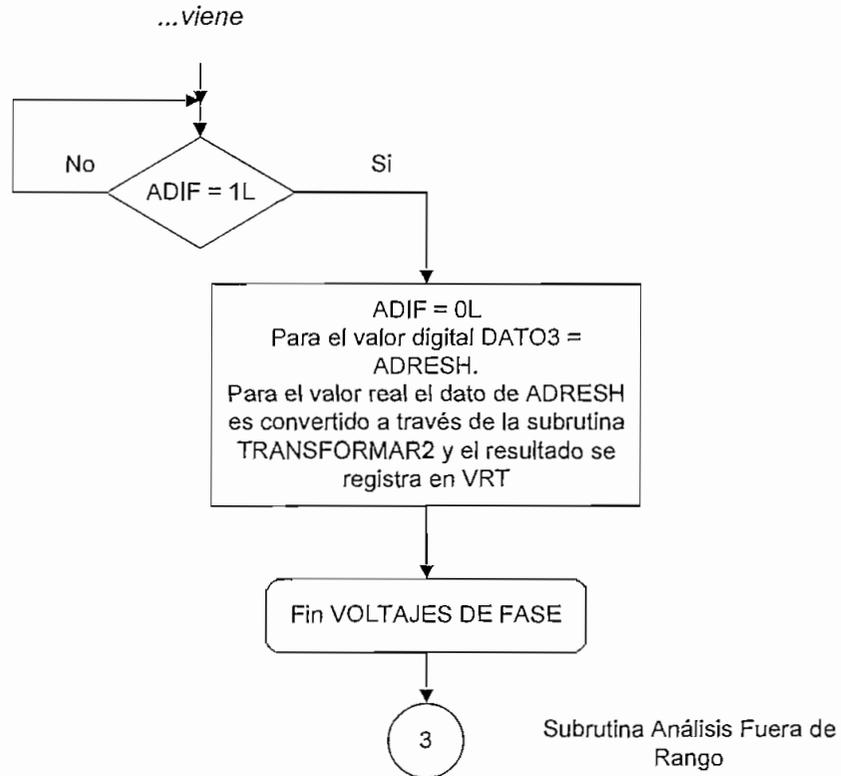


Figura 3.6 Diagrama de flujo voltajes de fase

3. Análisis Fuera de Rango

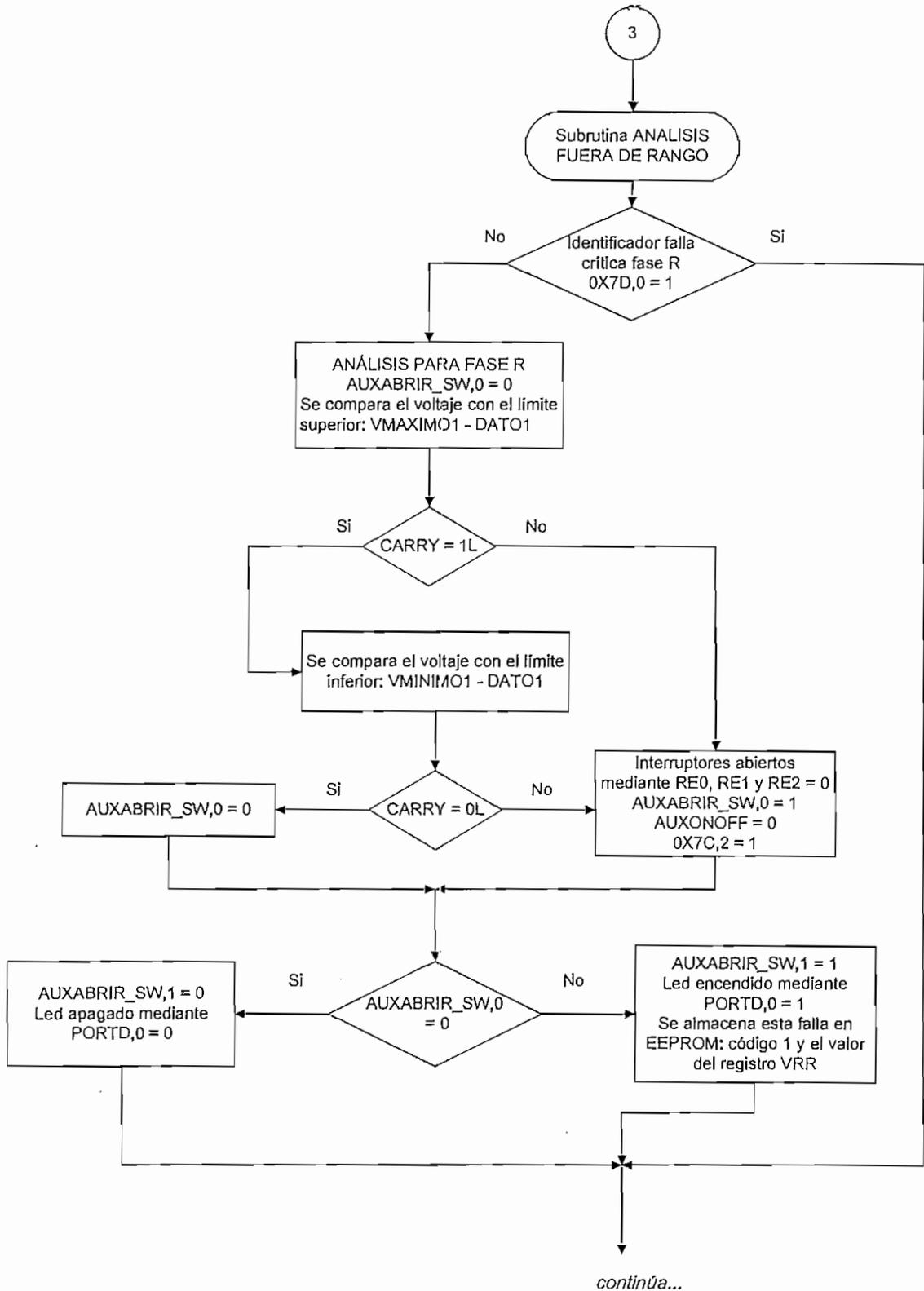
El registro 0X7D es un identificador de fallas críticas cuyos bits cambian a 1L conforme a la fase en la que se ha dado este evento en la rutina de interrupción externa y depende de este registro para realizar el análisis de fuera de rango por fase.

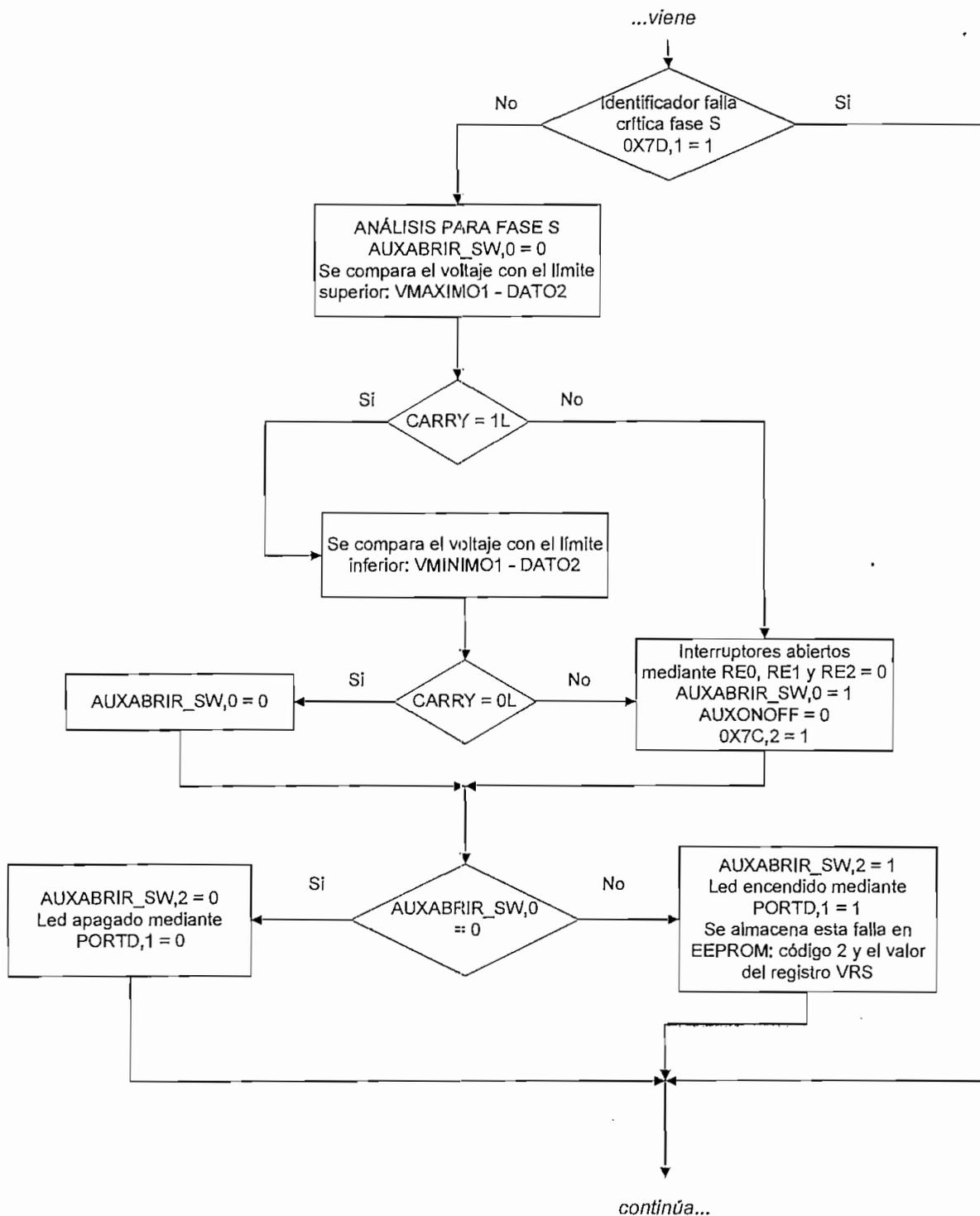
Si los bits indicadores son 1L no se realiza el análisis de fuera de rango de la fase correspondiente para diferenciar de forma adecuada una apertura por falla crítica o por fuera de rango. Si los bits son 0L se ejecuta el análisis de fuera de rango.

- En esta rutina se analiza si los valores digitales obtenidos en la conversión están ubicados dentro del rango de control definida por los datos de los registros VMAXIMO1 y VMINIMO1 y establecida por default o por el usuario a través de los botones pulsadores o por PC; si los voltajes digitales están dentro del rango también en digital se mantiene a cero el registro auxiliar AUXABRIR_SW.
- Caso contrario, en un fuera de rango se indica que fases se encuentran en esta condición mediante el encendido de leds, el auxiliar AUXABRIR_SW es diferente de cero y se asigna a 1L el bit 0x7C,2 para una posible reconexión automática si antes de la falla los interruptores se encontraban cerrados (la asignación a este bit se lo realiza también al darse una falla que genera una interrupción externa).
- Si el voltaje se restablece, los leds indicadores se apagan y se vuelve a cero el registro auxiliar.
- Cada fuera de rango constituye un evento y es registrado en la memoria EEPROM mediante un código de identificación y el valor de voltaje real de los registros VRR, VRS o VRT al que se produjo. El código para un fuera de rango de R es 1, para S es 2 y 3 para T.

El diagrama de flujo de la figura 3.7 muestra los pasos seguidos para detectar un fuera de rango por cada fase.

Si no hay un fuera de rango o una falla crítica implica que los interruptores pueden cerrarse o se mantienen en esta condición.





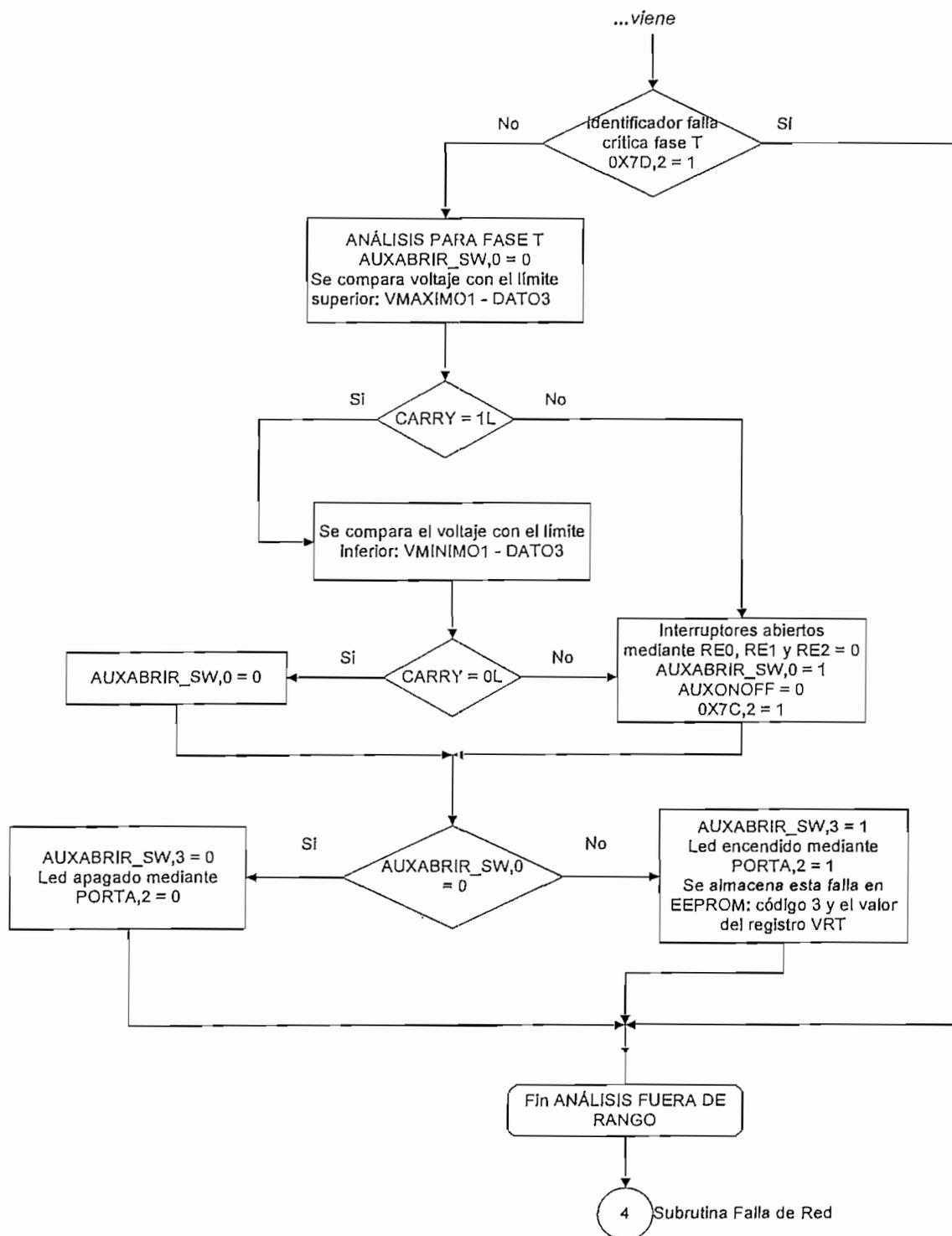


Figura 3.7 Diagrama de flujo análisis fuera de rango

4. Falla de Red

Los pasos a seguir dentro de esta rutina involucran el análisis de bits y registros asociados a las fallas que puedan darse, el estado de los interruptores antes de una falla y el modo de reconexión. La rutina comienza examinando el nivel del pin RB0 del puerto B y el registro AUXABRIR_SW de fuera de rango.

- Si el pin o el registro son diferentes de cero, la falla para cada caso persiste, no se permite una reconexión manual o automática y el programa salta a revisar el pulsante OPCIONES.
- Por el contrario continúa la revisión del bit 0X7C,2. Un 1L señala que hubo una falla, se genera un retardo de 20 segundos contabilizados mediante el Timer1, tiempo en el que antes de completarse se ejecuta la rutina principal sin entrar al pulsante ONOFF. Un 0L implica un voltaje normalizado sin alguna falla precedente para dar paso al pulsante ONOFF.
- Terminados los 20 segundos al revisar el bit 0X7B,7 como 1L asignado en la interrupción del Timer1, se comprueba nuevamente el pin y el auxiliar como se indicó; si uno de ellos es diferente de cero no hay una reconexión; caso contrario, es seguro que el voltaje se ha normalizado en ese tiempo y se analiza el modo de reconexión a través del registro AUXMO.
- Con un valor de 0 en AUXMO la reconexión es manual, se borra el bit 0X7C,2 y el programa entra a la revisión del pulsante ONOFF. Si AUXMO es 255 la reconexión es automática y se revisa el estado de los interruptores antes de la falla con el bit 0X7C,1.
- Si este bit es 1L los interruptores se encontraban cerrados, se borra 0X7C,2 y hay un salto directamente a la reconexión automática. Si es 0L los interruptores estaban abiertos, 0X7C,2 es puesto a cero y se ejecuta la rutina del pulsante ONOFF.

El diagrama de bloques de la figura 3.8 sintetiza la rutina de falla de red. El terminal 5 es la revisión del pulsante ONOFF, el terminal 5' es un salto directo a una reconexión automática y el terminal 6 es la revisión del pulsante OPCIONES.

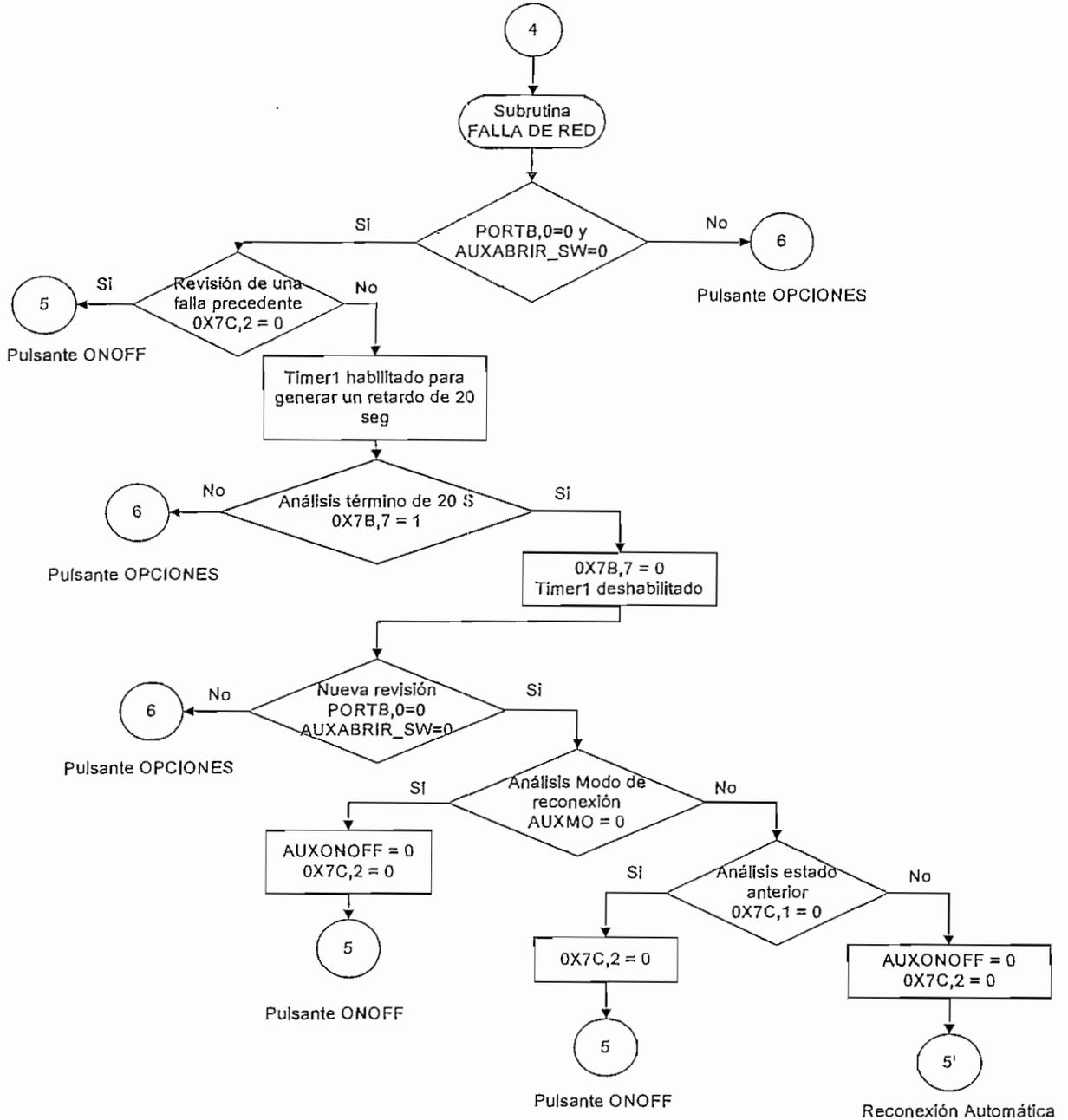


Figura 3.8 Diagrama de flujo falla de red

5. Revisión de Botones Pulsadores

Se realiza en forma secuencial la revisión de los pulsantes denominados como: ONOFF, OPCIONES, INCREMENTAR/MANUAL y DECREMENTAR/AUTOMATICO, para cumplir las siguientes funciones.

Pulsante ONOFF

Se puede conectar o desconectar los interruptores de dos formas: por PC si el bit 0x7F,4 es 1L (valor asignado en la interrupción serial) o en forma manual si el bit PORTB,2 se lee como 0L al haber pulsado ONOFF. Si cualquiera de estos bits no indican los estados requeridos para ejecutar una conexión o desconexión, esta parte del programa termina para revisar el pulsante OPCIONES.

Por el contrario, al darse los estados lógicos de cualquiera de estos bits, se conectan o desconectan los interruptores complementando el auxiliar AUXCASV; si este registro es 255 se cierran los interruptores enviando 1L a RE0 RE1 y RE2 para el activado de los interruptores y se presenta el mensaje correspondiente en el LCD de 3 segundos de duración:



CARGA ON

Si el registro es 0, se abren los interruptores eliminando las señales de activado o un 0L en RE0, RE1, RE2 y se indica el mensaje con la misma duración:



CARGA OFF

Se recalca que de acuerdo a la subrutina anterior, si la reconexión es automática se activan los interruptores sin necesidad de revisar la bandera de control por PC o el pulsante. A continuación la figura 3.9 presenta el diagrama de flujo para la rutina del pulsante ONOFF y la asignada para una reconexión automática desde el terminal 5'.

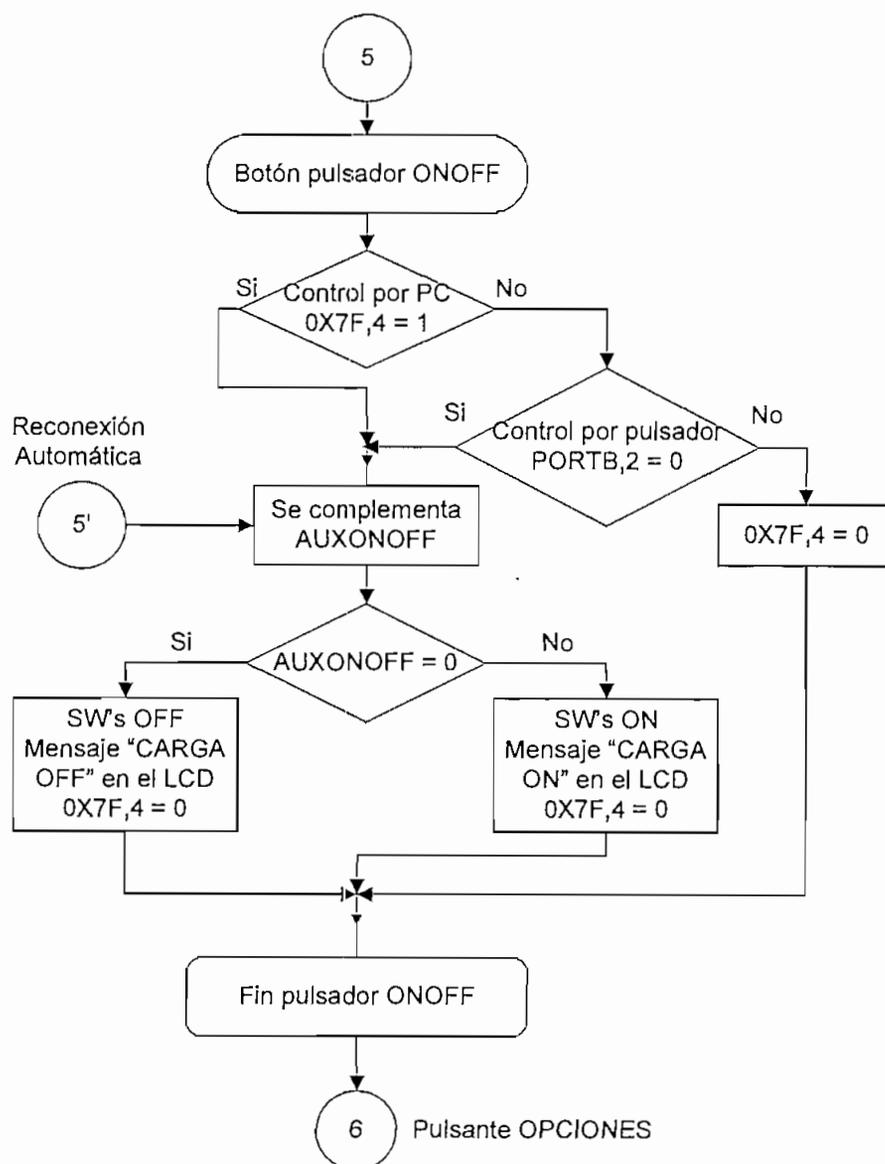


Figura 3.9 Diagrama de flujo pulsante ONOFF

Pulsantes OPCIONES, INCREMENTAR / MANUAL y DECREMENTAR / AUTOMATICO

Con el pulsante OPCIONES se pueden visualizar las variables de control y sus valores tales como:

- Voltaje de Fase

- Referencia (Set Point) de Voltaje

- Referencia (Set Point) de Tolerancia

- Rango de Control

- Porcentaje ocupado de Memoria EEPROM y;

- Modo de Reconexión.

Se accede a cada opción al revisar el auxiliar AUXCAMB que se incrementa por cada pulsación de OPCIONES (0L en el bit PORTB,1) hasta el valor de 8 en el que se borra este registro para acceder a la opción inicial y pasar a la rutina final del programa principal.

El diagrama de flujo que resume la función de este pulsante corresponde a la figura 3.10 en la que constan las opciones a visualizar mediante los terminales 60 a 67 a ser detallados a continuación. Al final de cada opción hay un salto a la subrutina final.

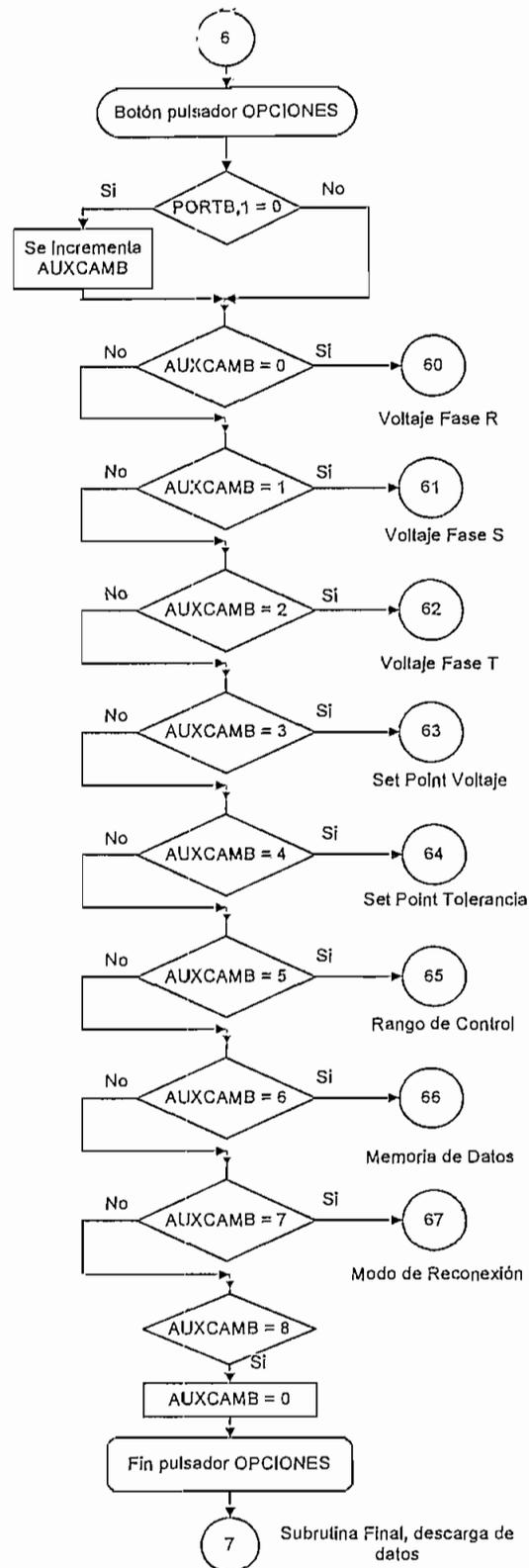


Figura 3.10 Diagrama de flujo pulsante OPCIONES

Opciones Voltajes de Fase

Los voltajes de fase son las tres primeras opciones y los valores reales que se presentan se registran en los auxiliares VRR, VRS y VRT después de la conversión realizada en Voltajes de Fase. La forma de los mensajes para cualquiera de las fases es:



Los diagramas de flujo para estas opciones se señalan en las figuras 3.11, 3.12 y 3.13.

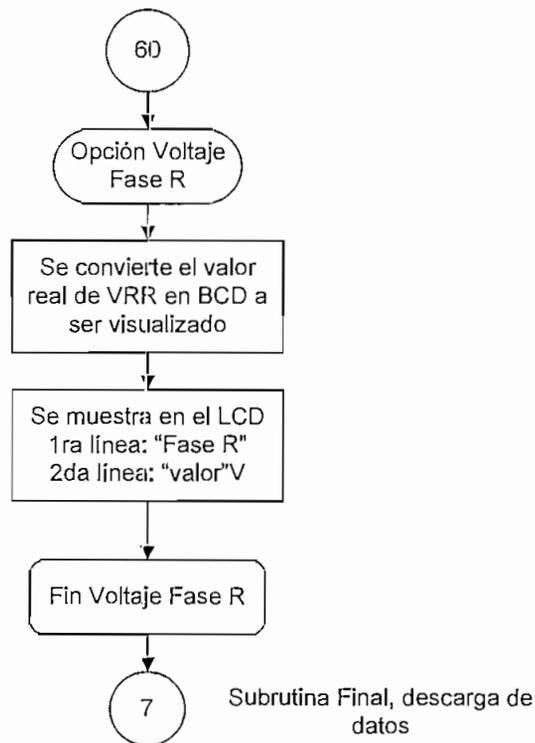


Figura 3.11 Diagrama de flujo voltaje fase R

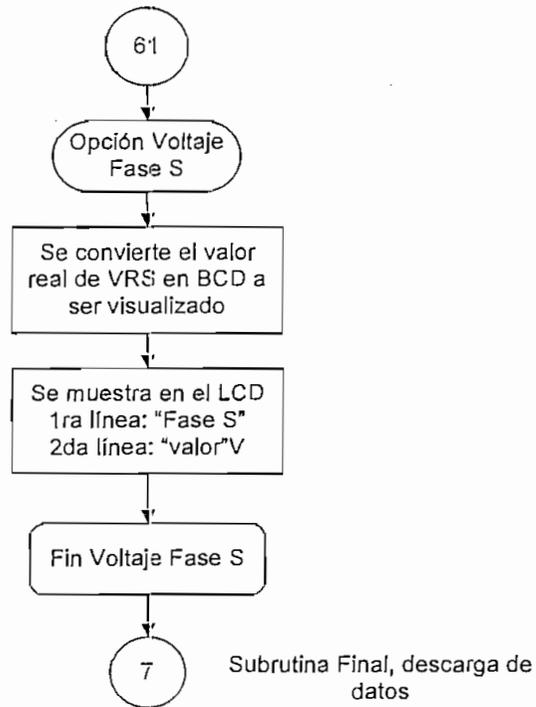


Figura 3.12 Diagrama de flujo voltaje fase S

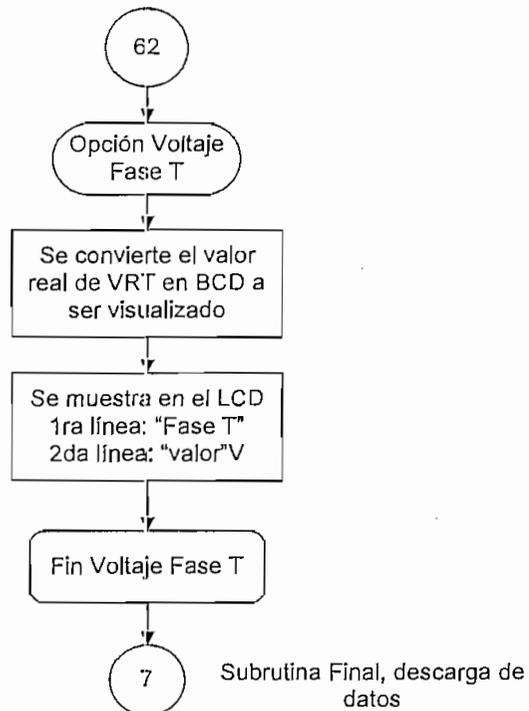


Figura 3.13 Diagrama de flujo voltaje fase T

Opciones Referencias o Set Point's de Voltaje y Tolerancia

Estas opciones pueden ser incrementadas o decrementadas mediante los botones pulsadores respectivos INCREMENTAR/MANUAL (si el bit PORTB,3 es 0L) y DECREMENTAR/AUTOMATICO (si el bit PORTB,4 es 0L).

El voltaje central registrado en el auxiliar VFIJO varía de uno en uno y el porcentaje o tolerancia del registro TOLER cambia de cinco en cinco.

Los valores para el voltaje central se restringen al rango comprendido entre 104 a 147V que corresponden a los voltajes de línea 180 y 255V respectivamente, mientras que los valores admisibles para el porcentaje son 5, 10, 15 y 20%.

Como ejemplo las referencias de voltaje y tolerancia se visualizan de la siguiente manera:

S.P. de Voltaje 115 V

S.P. de Tolerancia 5 %

Los diagramas de flujo correspondientes se especifican en las figuras 3.14 y 3.15.

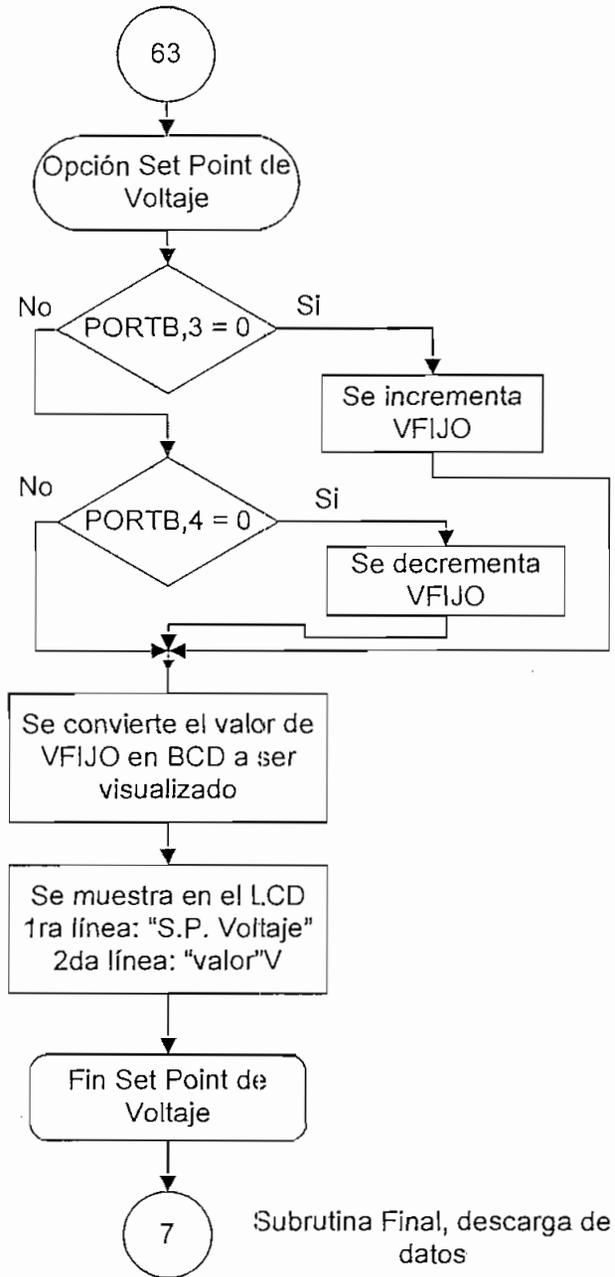


Figura 3.14 Diagrama de flujo set point de voltaje

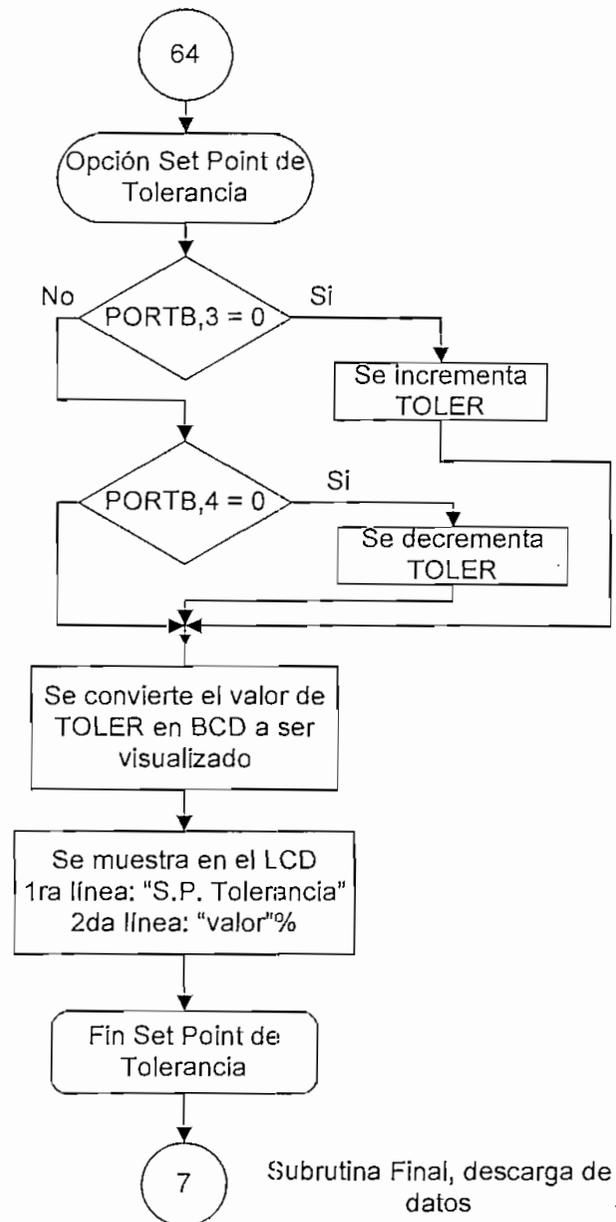


Figura 3.15 Diagrama de flujo set point de tolerancia

Opción Rango de Voltaje

En la opción Rango de Voltaje se puede visualizar los valores inferior (registro VMINIMO) y superior (registro VMAXIMO) reales del rango de control por default o establecido por el usuario mediante los pulsantes o por PC; la figura 3.16 detalla esta sección de la rutina principal.

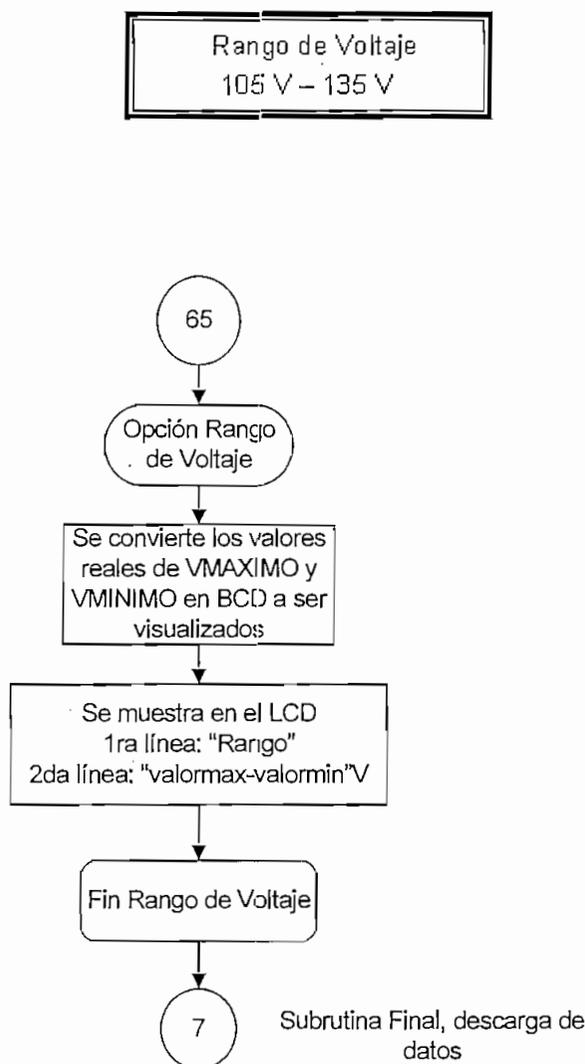


Figura 3.16 Diagrama de flujo rango de voltaje

Opción Memoria de Datos

En la opción Memoria de Datos se indica en porcentaje la capacidad ocupada de la memoria EEPROM de datos en la que se almacenan los eventos como fallas críticas o fueras de rango producidos. Este porcentaje se obtiene del auxiliar DIR_EE que lleva el dato de la última dirección ocupada de la EEPROM con respecto a 252 bytes a ser ocupados por tales fallas; el porcentaje se obtiene al multiplicar DIR_EE por el factor 7/18, el resultado se almacena en el registro auxiliar PORMEM. El diagrama de flujo se expone en la figura 3.17.

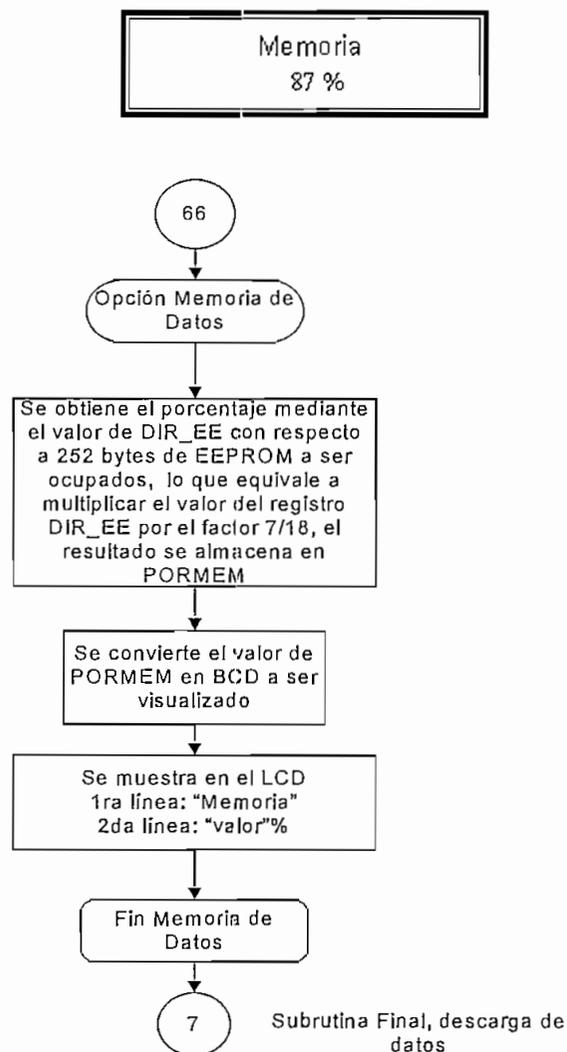


Figura 3.17 Diagrama de flujo memoria de datos

Opción Modo de Reconexión

En la opción Modo de Reconexión, se pulsa INCREMENTAR/MANUAL para elegir una Reconexión Manual que implica el uso del pulsante ONOFF o por PC para volver a conectar la carga, se identifica con el registro AUXMO = 0. El pulsante DECREMENTAR/AUTOMÁTICO da lugar a una Reconexión Automática si antes de la falla los interruptores estaban cerrados, se identifica con el registro AUXMO = 255. Esta opción se describe en el diagrama de la figura 3.18.

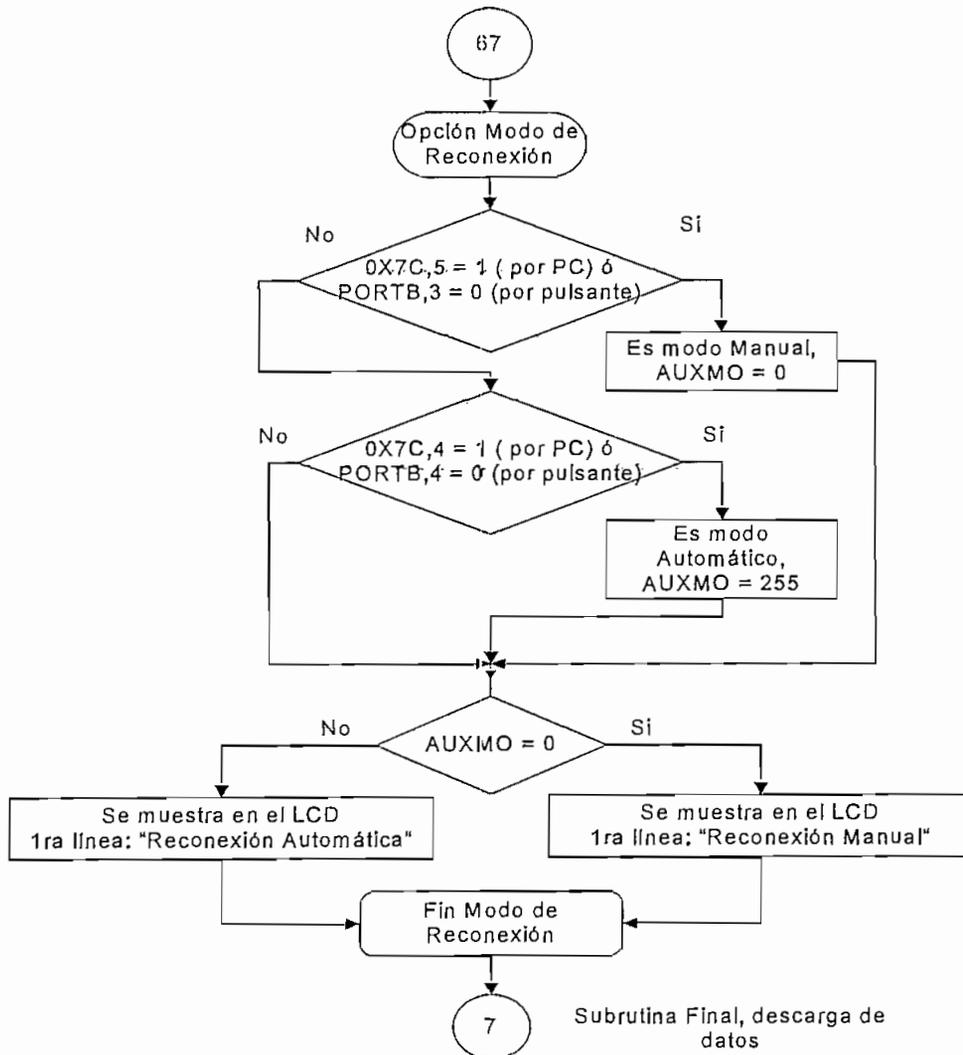


Figura 3.18 Diagrama de flujo modo de reconexión

La forma de los mensajes a ser visualizados en el LCD para los modos de reconexión establecidos se indican a continuación:

Reconexión Manual

Reconexión Automática

6. Rutina Final, Descarga de Datos

Esta rutina tiene dos partes que se ejecutan conforme el estado lógico de dos banderas.

- Si la bandera 0x7F,5 es 1L asignada en la rutina de interrupción serial, se envían las variables de control que se visualizan en el LCD para tener información en PC de los valores a los cuales controla el RESM. Estas variables son: Voltaje de cada fase, Referencia de Voltaje, Referencia de Tolerancia, Rango de Control y Porcentaje de memoria EEPROM ocupada con un retardo de 1mS entre cada dato enviado; se borra esta bandera al enviar la última variable.
- Si la bandera 0X7F,3 es 1L valor dado en la rutina de interrupción serial, se envían los eventos o fallas registrados en la memoria EEPROM del microcontrolador. Cada evento que puede ser un fuera de rango o una falla crítica de red consta de un código que lo identifica y el valor al que se ha producido. Hay un retardo de 1mS entre cada dato del par enviado.

Los valores que se guardan para el evento de fuera de rango de cualquier fase son los voltajes reales registrados en los auxiliares VRR, VRS o VRT, mientras que para las fallas críticas posibles los valores con el que se registran es de 11 para las faltas

de fase y 15 para sobrevoltajes o picos. Los códigos establecidos para cada evento son referidos en la tabla 3.7:

CÓDIGOS DE FALLAS DE RED

CÓDIGO	EVENTO
1	Indica un fuera de rango de la fase R
2	Indica un fuera de rango de la fase S
3	Indica un fuera de rango de la fase T
4	Indica un sobrevoltaje en la fase R
5	Indica falta de fase R
6	Indica un sobrevoltaje en la fase S
7	Indica falta de fase S
8	Indica un sobrevoltaje en la fase T
9	Indica falta de fase T

Tabla 3.7 Codificación para las fallas de red

- Luego de la descarga de cada evento, el programa retorna al inicio de la rutina principal y se ejecuta en la misma secuencia. Al enviar el último dato al PC se borra el bit 3 del registro 7FH.
- El registro DIR_EE que lleva la dirección de EEPROM se decrementa por cada dato enviado y termina con un valor de 0 al ser descargados todos las fallas almacenadas para iniciar desde esta dirección un nuevo registro de datos.

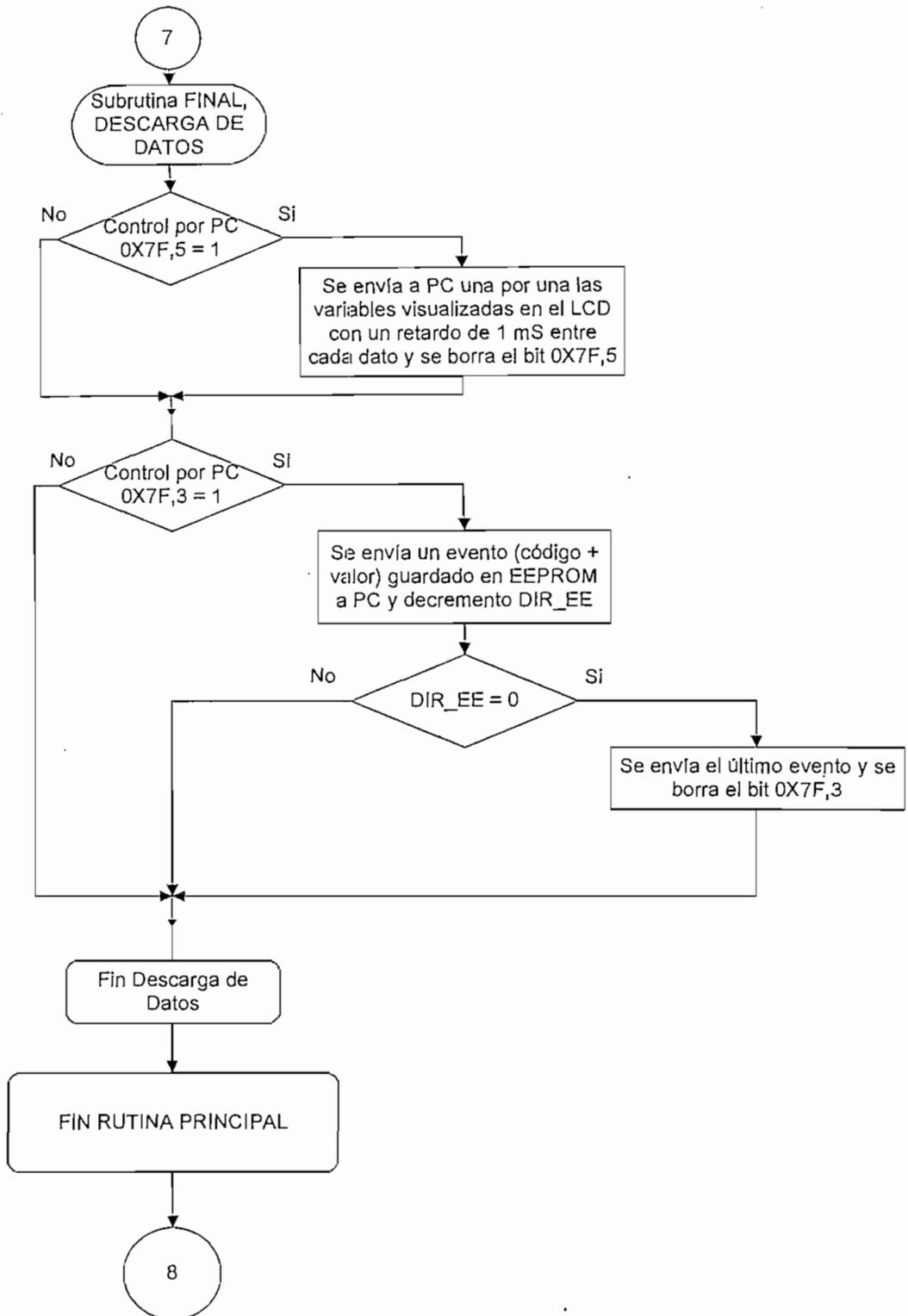


Figura 3.19 Diagrama de flujo descarga de datos

En el diagrama de flujo de la figura 3.19, se indica el terminal 8 como fin del programa principal, para volver al inicio de la misma y ejecutar en el orden establecido todas las rutinas detalladas.

3.2.3 RUTINA DE INTERRUPCIONES

Cuando hay un salto al vector de interrupciones en la dirección 0004H, se guardan los registros W, STATUS y PCLATH en los temporales W_TEMP, STATUS_TEMP Y PCLATH_TEMP, se atiende la interrupción respectiva conforme a la revisión de las banderas que indican el origen de la misma y antes de salir de cualquier interrupción, se devuelven los valores de los registros temporales con el fin de retornar al nivel del programa principal que se ejecutaba antes de producirse la interrupción. El inicio y la decodificación del origen de interrupciones se muestra en las figuras 3.20 y 3.21.

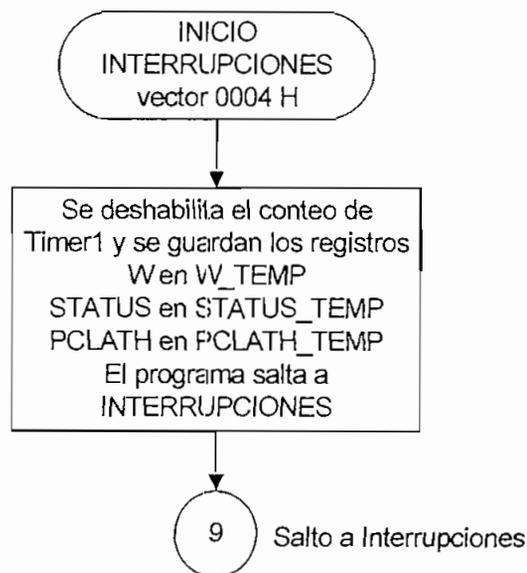


Figura 3.20 Diagrama de flujo interrupciones, inicio

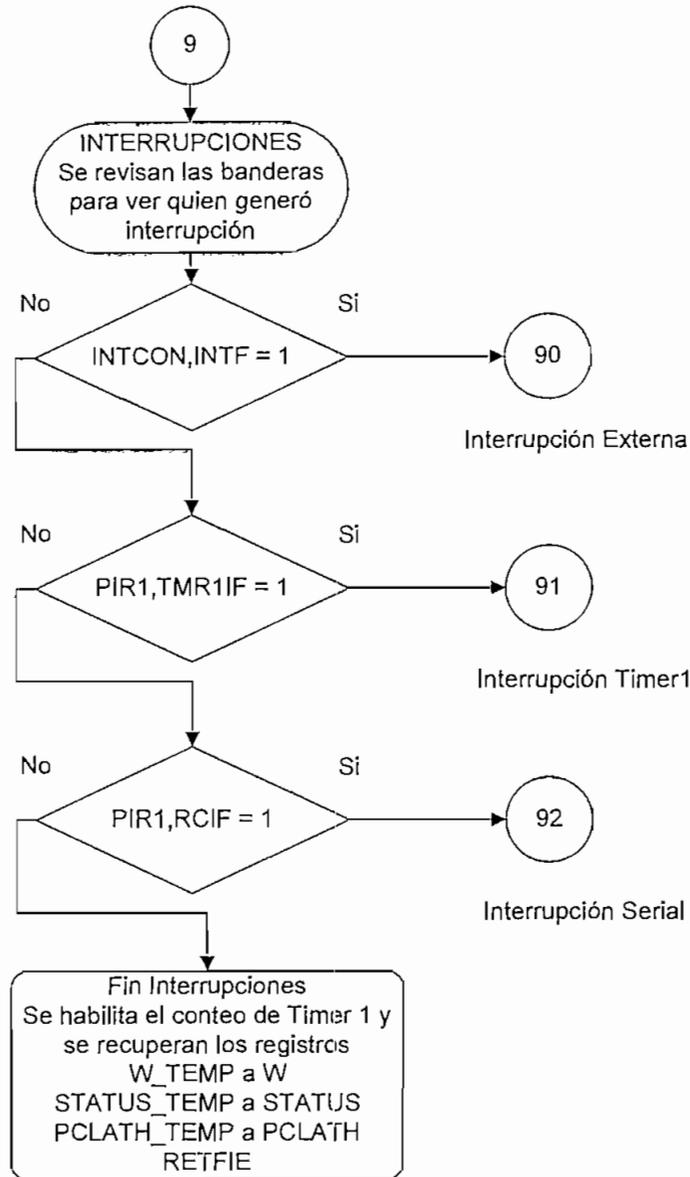
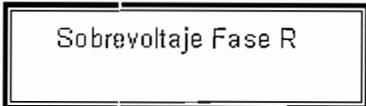


Figura 3.21 Diagrama de flujo decodificación de interrupciones

1. Interrupción Externa

Se detecta por un flanco positivo a través de RBO proveniente de los circuitos de detección de sobrevoltajes, picos y falta de fases indicados en el capítulo 2; en esta rutina se realizan las siguientes acciones:

- Se inhiben las señales de activado de los interruptores poniendo a cero los pines RE0, RE1 y RE2 del puerto E que van a las compuertas de los elementos de estado sólido.
- Se leen los pines asignados para cada falla. Si la falla es por sobrevoltajes los pines RC0, RC1 o RC2 deben leerse como 1L y las faltas de fases en RC3, RC4 o RC5 dan lugar a un 0L.
- Una vez identificado el tipo de falla se coloca a 1L los bits: 0X7D,0 en caso de una falla en la fase R, 0X7D,1 si la falla es en la fase S y 0X7D,2 para una falla en T, con el propósito de diferenciar esta falla con respecto a un fuera de rango que pudiera ser detectado al finalizar la rutina de interrupción.
- Se registran estos eventos en la EEPROM de igual manera con un código y un valor de 11 para las faltas de fase y 15 para los sobrevoltajes.
- Se visualiza la falla en el LCD, pudiéndose mostrar los sobrevoltajes y las faltas de fase con un retardo de 2 segundos como:



Sobrevoltaje Fase R



Sobrevoltaje Fase S

Sobrevoltaje Fase T

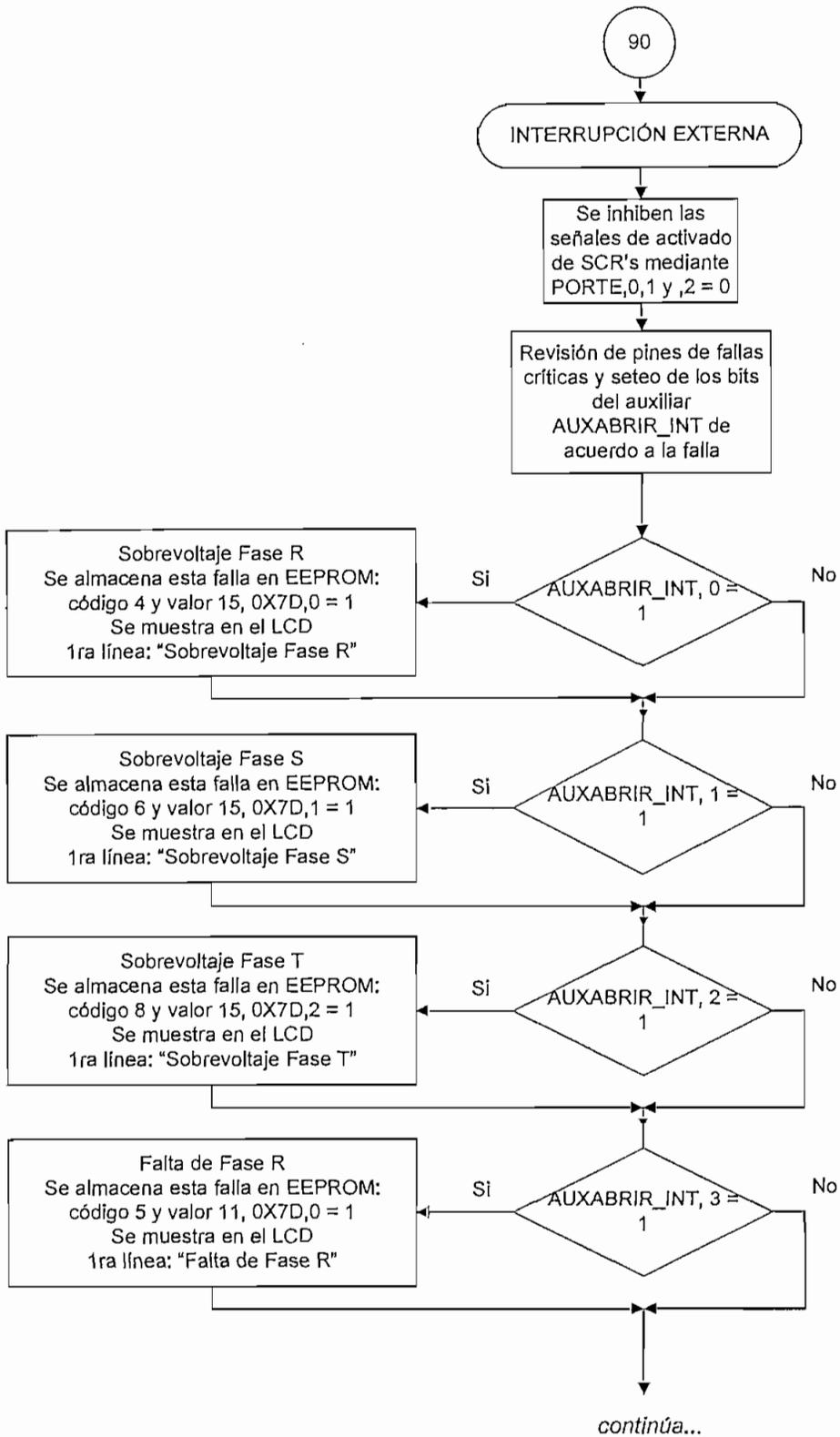
Falta de Fase R

Falta de Fase S

Falta de Fase T

- Se borra el mensaje de falla presentado, los registros auxiliares, las banderas utilizadas en esta interrupción y el registro AUXONOFF.
- Se colocan a 1L los bits 0X7D,7 para indicar que se ha dado una falla crítica y 0X7C,2 para una posible reconexión automática de los interruptores y la rutina termina con un salto al final de las interrupciones que es la misma indicada en la figura 3.21.

Cada paso de la rutina de interrupción puede apreciarse en el diagrama de flujo de la figura 3.22 a continuación:



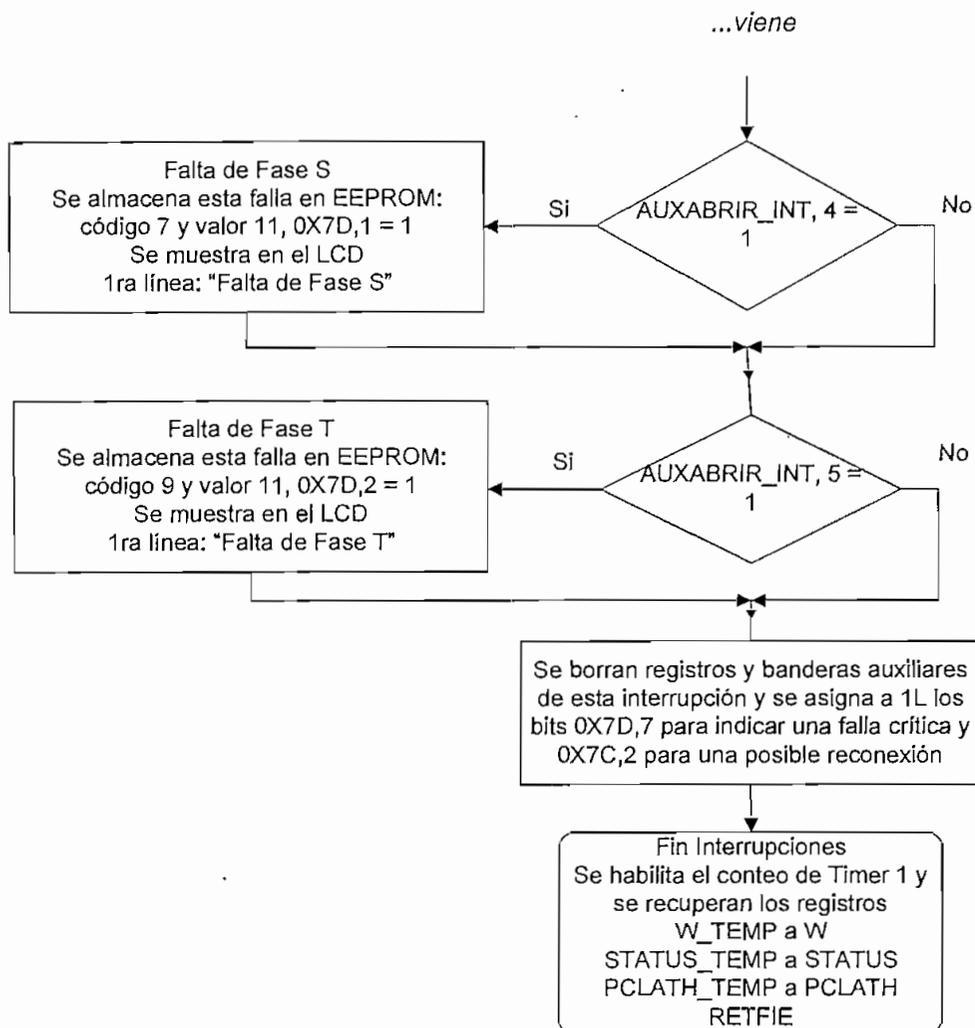


Figura 3.22 Diagrama de flujo interrupción externa

2. Interrupción Timer1

La interrupción del Timer1 se habilita en la rutina Falla de Red para contabilizar 20 segundos luego de restablecerse la red de alimentación y dar lugar a una posible reconexión en modo manual o automático. Hasta que se complete este tiempo, la rutina principal se sigue ejecutando en forma secuencial como se explicó anteriormente.

Al terminar la contabilización de los 20 segundos se coloca a 1L el bit 0X7B,7 y la interrupción finaliza. En la rutina principal se lee el bit 0X7B,7 para analizar una vez más la existencia de una falla.

Si el voltaje en cada fase es el nominal se pueden reconectar los interruptores, caso contrario el prototipo ejecuta el control correspondiente sin permitir la conexión de los interruptores hasta que el voltaje se normalice. La figura 3.23 presenta la rutina de interrupción por Timer1.

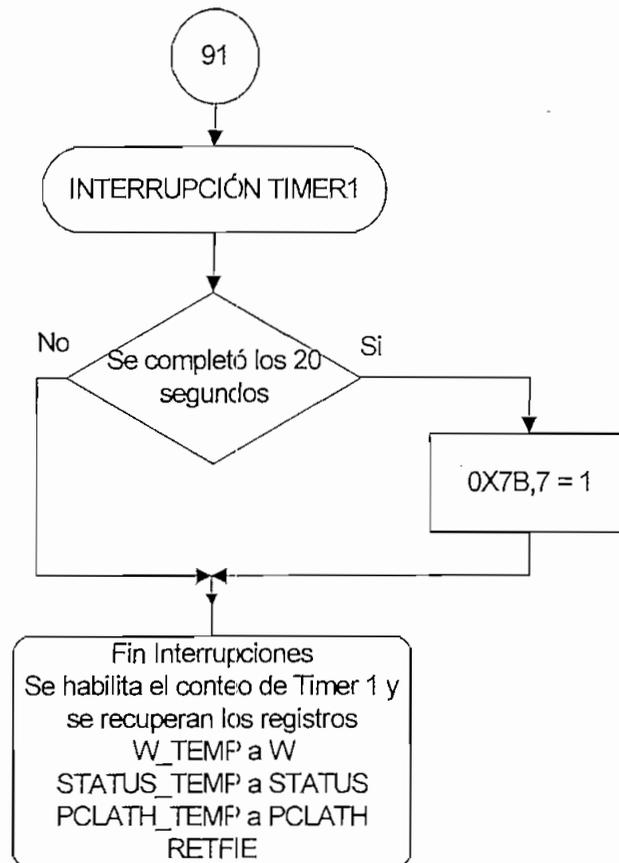


Figura 3.23 Diagrama de flujo interrupción Timer1

3. Interrupción Serial

La rutina de interrupción por comunicación serial se da por recepción de códigos del PC. Estos códigos son valores numéricos con los que se identifica la acción que debe realizar el microcontrolador.

- El código 1 indica al PIC que debe enviar al PC los valores de las variables de control al que está operando el RESM colocando a 1L la bandera 0x7F,5 y leer este indicador en el programa principal, a fin de enviar estos datos al software de aplicación establecido en el PC.
- El código 2 indica al PIC que debe recibir el siguiente dato proveniente del PC que corresponde a la referencia de voltaje. Este dato se registra en el auxiliar VFIJO en la misma rutina de interrupción y de esta manera se actualiza el rango de control.
- El código 3 indica al PIC que debe recibir el siguiente dato proveniente del PC que corresponde a la referencia de tolerancia. Este dato se registra en el auxiliar TOLER para actualizar el rango de control.
- El código 4 indica al PIC la conexión o desconexión de los interruptores de potencia por PC asignando a 1L el bit 4 del registro 7FH que identifica esta función a ser realizado posteriormente por el microcontrolador en el programa principal.
- El código 5 indica al PIC que debe enviar al PC el número de datos registrados en la memoria EEPROM y que se contabilizan en el auxiliar DIR_EE. Este valor se envía antes de salir de esta interrupción.

- El código 6 indica al PIC que debe enviar al PC los eventos registrados en la memoria EEPROM fijando a 1L el bit 3 del registro 7FH que identifica esta función a ser realizada al salir de esta interrupción.
- El código 7 indica al PIC que debe enviar al PC el estado de los interruptores de potencia revisando el registro AUXCASV; si el registro presenta un valor de 255 hay una conexión de los interruptores y la respuesta al PC es el número 1, mientras que un valor de 0 en este registro indica una apertura mediante una respuesta al PC del número 2, todo esto dentro de la misma interrupción.
- El código 8 indica el modo de reconexión manual desde el PC mediante un 1L en el bit 0X7C,5. De tal manera que en el programa principal cuando se ejecute la opción Reconexión se leerá primero este bit antes que al pulsante correspondiente para dar lugar al modo Manual.
- El código 9 indica el modo de reconexión automático desde el PC mediante un 1L el bit 0X7C,4. Por lo tanto en la opción Reconexión del programa principal se lee este bit para ejecutar una reconexión automática. Si este bit es cero se lee el pulsante correspondiente para ejecutar esta forma de reconexión.
- El código 15 indica al PIC que debe enviar al PC el modo de reconexión revisando en registro AUXMO; si el registro presenta un valor de 255 es una reconexión automática y la respuesta es 2; si el valor del registro es 0 la reconexión es manual con la respuesta 1 al PC.

Cabe recalcar que este tipo de interrupción se genera solo por recepción de los códigos descritos a fin de establecer una adecuada comunicación entre el RESM y el computador.

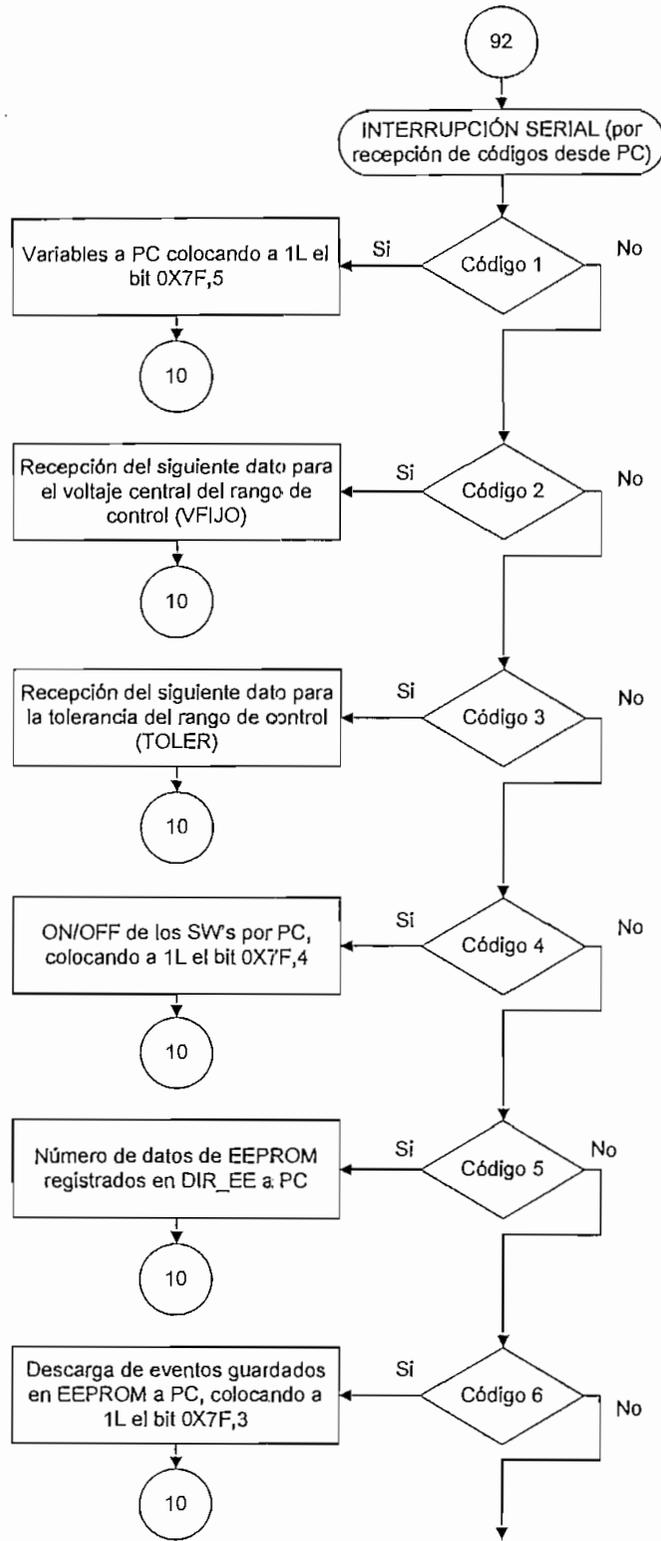
El software realizado en PC se indica en el apartado siguiente en el que se aplica este criterio, primero se envían los códigos para tener la respuesta correcta del prototipo.

En la tabla 3.8 se resume el protocolo de comunicación establecido entre el PC y el RESM. En la figura 3.24 consta el diagrama de flujo correspondiente, en el que el terminal 10 es un salto al final de todas las interrupciones.

PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ENTRE EL RESM Y EL PC

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1	VARIABLES DE CONTROL A PC
2	REFERENCIA DE VOLTAJE DE PC A RESM
3	REFERENCIA DE TOLERANCIA DE PC A RESM
4	ON/OFF DE LOS INTERRUPTORES POR PC
5	NÚMERO DE DATOS DE RESM A PC
6	EVENTOS GUARDADOS EN RESM A PC
7	ESTADO DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA
8	RECONEXIÓN MANUAL POR PC
9	RECONEXIÓN AUTOMÁTICA POR PC
15	MODOS DE RECONEXIÓN DE RESM A PC

Tabla 3.8 Protocolo de comunicación entre RESM y PC



continúa...

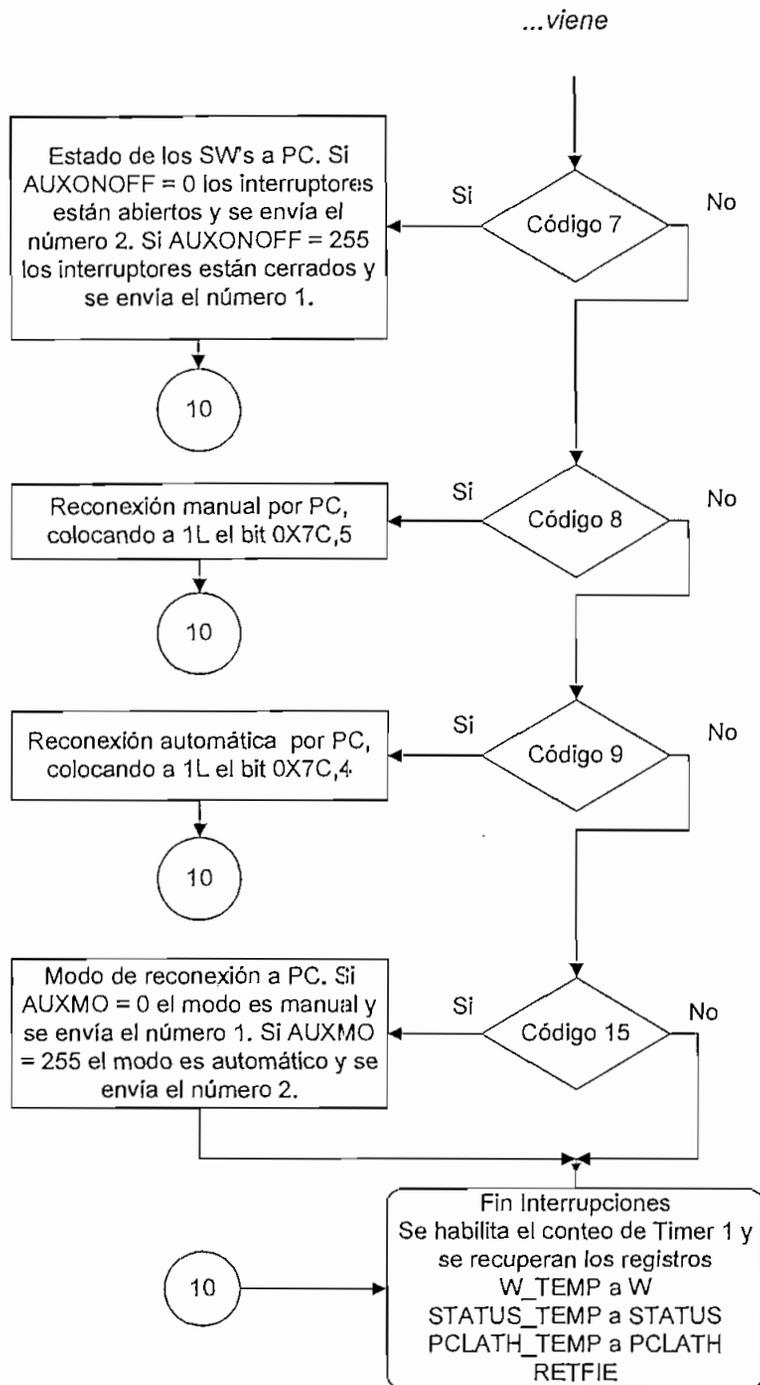


Figura 3.24 Diagrama de flujo interrupción serial

3.2.4 SUBRUTINAS GENERALES

Las subrutinas generales de matemáticas de suma, resta, multiplicación y división, se las requiere continuamente en el programa principal para calcular el rango de control, analizar si el voltaje está dentro de este rango, convertir a BCD los valores numéricos a visualizar en el LCD y calcular el porcentaje ocupado de memoria EEPROM.

Para obtener valores digitales y reales como se mencionó en el apartado 3.2.2 se utilizan dos subrutinas denominadas TRANSFORMAR y TRANSFORMAR2 para los valores en digital y real respectivamente.

En estas subrutinas se multiplica el valor a transformar por un factor de multiplicación obtenido por aproximación lineal o pendiente de la curva correspondiente a 50 muestras tomadas de voltajes análogos acondicionados conforme a la variación de los voltajes de la red trifásica. Este factor es 1.31 para la subrutina Transformar que convierte un valor real en digital y 0.7608 para la subrutina Transformar2 que convierte un valor digital en real.

Las figuras 3.25 y 3.26 detallan los diagramas de flujo para las subrutinas de conversión de valores.

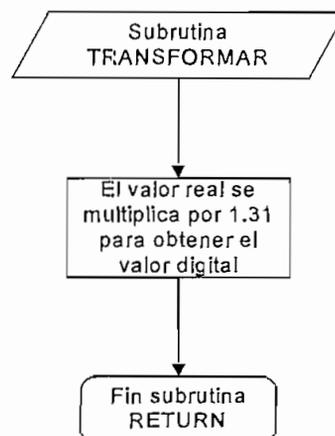


Figura 3.25 Diagrama de flujo subrutina transformar de real a digital

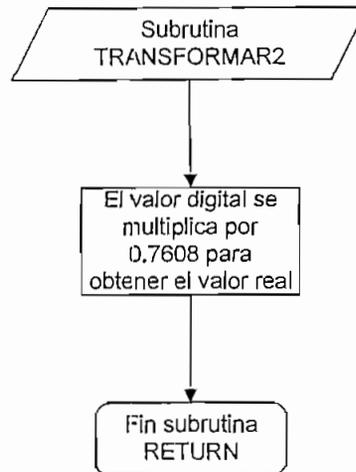


Figura 3.26 Diagrama de flujo subrutina transformar2 de digital a real

3.3 DESARROLLO DE LA INTERFASE DE USUARIO MEDIANTE VISUAL BASIC

El software desarrollado bajo Visual Basic para interactuar con el RESM consta de ventanas con menús, mensajes de textos datos, botones, bases de datos y gráficas para dar lugar a la interfase con el usuario y establecer las condiciones de visualización y funcionamiento del proyecto en conjunto.

Como se explicó en la sección 1.9.1, la ejecución del código responde a una programación por eventos, lo que implica realizar una acción correspondiente a otra dada por el usuario, como hacer un clic sobre un botón, al pulsar una tecla o al cargarse las ventanas dependiendo de su función.

La comunicación con el microcontrolador se lo realiza en forma serial, puesto que este método se ajusta mejor a estas aplicaciones por las ventajas que ofrece frente a una comunicación en paralelo.

Se establece un protocolo de comunicación entre el prototipo y el computador. Básicamente el programa en Visual Basic envía un valor numérico o código al microcontrolador del RESM al dar un clic sobre un botón para que este lo reconozca y realice una acción, como se indicó en la tabla 3.8.

Las acciones a efectuarse son la recepción de nuevos datos correspondientes a las referencias de voltaje o tolerancia y el envío de las variables de control o los eventos almacenados en la memoria EEPROM de datos del microcontrolador.

3.3.1 SOFTWARE EN PC PARA EL CONTROL DEL RESM

El software desarrollado contiene pantallas de fácil manejo y dispone de las opciones necesarias para el funcionamiento y control del RESM a través del computador.

Los programas realizados tanto en el PIC como en Visual Basic deben estar en perfecta coordinación con el fin de evitar errores en la transmisión y recepción de datos entre estos terminales. El software o aplicación consta de un módulo estándar y trece módulos de formulario que responden a eventos acaecidos al desplegarse una ventana o al pulsar los botones correspondientes.

1. Acceso directo al software de aplicación

Para acceder a la aplicación, se genera el archivo ejecutable del proyecto creado y editado en Visual Basic bajo el nombre de RESM.EXE con acceso directo desde el escritorio del PC como se indica en la figura 3.27.



Figura 3.27 Acceso directo a la aplicación

Al ejecutarse la aplicación el módulo estándar o módulo.BAS proyecta una ventana para ingresar el Password o Clave de Acceso y seguir con el desarrollo de la aplicación.

2. Pantalla clave de acceso

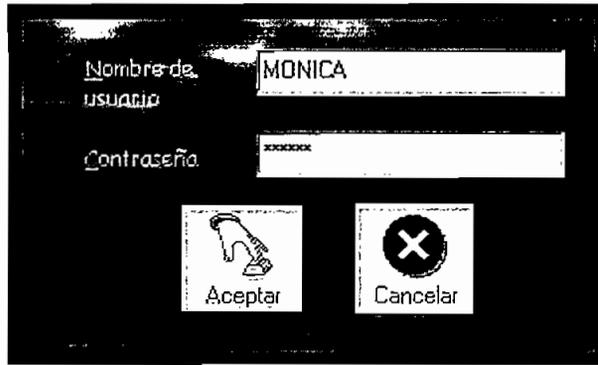


Figura 3.28 Pantalla clave de acceso

Si la clave es correcta, el programa ejecuta los siguientes módulos de formulario comenzando con la pantalla de presentación que dura 8 segundos para su visualización, tiempo después del cual se despliega el menú principal que es permanente.

Private Sub cmdOK_Click(). Botón Aceptar

Comprueba la clave de acceso. Si es incorrecta aparece un mensaje de error. Si es correcta se puede acceder a la aplicación desplegando inicialmente la pantalla de presentación.

Private Sub cmdCancel_Click(). Botón Cancel

Salida de la aplicación.

3. Pantalla de presentación

Es una descripción general del proyecto indicando su nombre, el autor y otros aspectos. Su visualización dura 8 segundos.



Figura 3.29 Pantalla de presentación

Private Sub Form_Load()

Al abrirse esta pantalla se habilita el contador con un intervalo de 8 segundos.

Private Sub Timer1_Timer()

Después de los 8 segundos se deshabilita el contador, se descarga la pantalla de presentación y aparece la siguiente que es la pantalla de menú principal.

4. Pantalla de menú principal

Contiene tres submenús creados en el Editor de Menús, en el siguiente orden:

- Archivo, con una única opción que es la salida de la aplicación.
- Edición, contiene las ventanas: Datos por recibir, Datos por enviar, Interruptores estáticos y Base de Datos.
- Ver, cuyas ventanas dan una información general del proyecto RESM y las acciones que se pueden realizar en cada una de las ventanas del submenú Edición.



Figura 3.30 Pantalla de menú principal

En las pantallas que se describen a continuación, a más de las opciones que ofrezcan, contienen el control MSComm necesario para establecer la comunicación con el prototipo asignado (como en el programa del PIC) a 9600 baudios, no bit de paridad, 8 bits de datos, 1 bit de parada. El puerto es abierto al cargarse cada pantalla y se cierra con el botón EXIT para regresar a la pantalla principal.

Private Sub mnusal_Click(). Salir del Submenú Archivo

Salida de la aplicación.

Private Sub mnudatrecib_Click(). Datos por Recibir del Submenú Edición

Presentación de la pantalla Recepción de Datos.

Private Sub mnudatenvi_Click(). Datos por Enviar del Submenú Edición

Presentación de la pantalla Envío de Datos.

Private Sub mnuinterpot_Click(). Interruptores Estáticos del Submenú Edición

Presentación de la pantalla Interruptores Estáticos.

Private Sub mnubasdat_Click(). Base de Datos del Submenú Edición

Presentación de la pantalla Datos de la Red de Alimentación.

5. Submenú: DATOS POR RECIBIR

De acuerdo a la figura 3.31, esta pantalla contiene 8 cajas de texto en los que se presenta los datos a los que el prototipo está controlando.

Estos datos son los voltajes de cada fase, las referencias de voltaje y tolerancia, el rango de control y el porcentaje de memoria utilizado. Se restringe el acceso a cada uno de estos textos para evitar la escritura en los mismos.

Recepción de Datos

RECEPCION DE DATOS

- VOLTAJE DE FASE

FASE R	<input type="text"/>	V
FASE S	<input type="text"/>	V
FASE T	<input type="text"/>	V

- SET POINT'S

SP de Voltaje	<input type="text"/>	V
SP de Tolerancia	<input type="text"/>	%

- RANGO DE VOLTAJE

Limite Inferior	<input type="text"/>	V
Limite Superior	<input type="text"/>	V

- MEMORIA

Ocupado un	<input type="text"/>	%
------------	----------------------	---

- OPCIONES

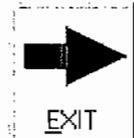
 Actualizar datos	 Mostrar Variables	 EXIT
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 3.31 Pantalla DATOS POR RECIBIR

Tales datos se actualizan mediante el botón de comando 'Actualizar datos' y se muestran en los cuadros de texto con el siguiente botón 'Mostrar variables'.

Private Sub Form_Load()

Se deshabilita el botón Mostrar Variables a fin de actualizar los datos.

Private Sub ActualDat_Click(). Botón Actualizar Datos

Borra los valores que contengan los textos para abrir el puerto de comunicaciones y enviar el carácter (1) para que el prototipo retorne las variables de control actualizadas. Al final de este evento se habilita el botón Mostrar Variables.

Private Sub MSComm1_OnComm()

Este evento se ejecuta al recibir 8 valores en el buffer de entrada y los coloca en las variables asignadas como tipo Integer.

Private Sub cmdvol_Click(). Botón Mostrar Variables

Muestra en los cuadros de textos los valores guardados en las variables para volver a deshabilitarse con el fin de actualizar los datos antes de ser mostrados.

Private Sub cmd2salir_Click(). Botón Exit

Salida de la pantalla Recepción de Datos.

6. Submenú: DATOS POR ENVIAR

En esta pantalla se presentan dos cuadros de texto con sus respectivos botones de comando para enviar los datos de referencia de voltaje o tolerancia al RESM; de esta manera se establece por PC el rango o banda de seguridad sobre la que debe realizar el control.

Private Sub Form_Load()

Se abre el puerto de comunicaciones para enviar el carácter (15) y actualizar el modo de reconexión. Se habilita el contador con un tiempo de 2.5 segundos y se borran los indicadores o leds del modo de reconexión.

Private Sub MSComm1_OnComm()

Este evento se ejecuta al recibir un dato en el buffer de entrada que es la respuesta del RESM al carácter (15) enviado cada 2.5seg desde el PC. Si el dato es 1 el modo de reconexión actual es manual, se activa el respectivo indicador y se desactiva el de modo automático. Si el dato es 2 el modo es automático con su respectivo indicador deshabilitando el correspondiente a modo manual.



Figura 3.32 Pantalla DATOS POR ENVIAR

Private Sub cmdspvolt2_Click(). Botón Enviar valor de SPV

Una vez escrito el valor en el cuadro de texto, con este botón se envía primero el carácter (2) para que el RESM espere a recibir el segundo dato o valor del texto correspondiente a la referencia de voltaje.

Private Sub cmdSPT2_Click(). Botón Enviar valor de SPT

Una vez escrito el valor en el cuadro de texto, con este botón se envía primero el carácter (3) para que el RESM espere a recibir el segundo dato o valor del texto correspondiente a la referencia de tolerancia.

Private Sub cmdmanual_Click(). Botón Manual

Envía el carácter (8) para indicar al RESM el modo de reconexión manual. Se habilita el indicador para este tipo de reconexión y se deshabilita el correspondiente para modo automático.

Private Sub cmdauto_Click(). Botón Automático

Envía el carácter (9) para indicar al RESM el modo de reconexión automático. Se habilita el indicador para este tipo de reconexión y se deshabilita el correspondiente para modo manual.

Private Sub Timer1_Timer()

Envía el carácter (15) para actualizar el modo de reconexión en esta pantalla cada vez que se han cumplido 2.5 segundos indicados en las propiedades de este control.

Private Sub cmd2salir_Click(). Botón Exit

Cierra el puerto, deshabilita el contador y descarga esta pantalla para volver al menú principal.

Los valores a ser enviados están limitados a 104 y 147V para la referencia de voltaje y de 5, 10 15 y 20 % para la tolerancia; por lo tanto, si los datos escritos en los cuadros de texto no cumplen con estas consideraciones se despliegan pantallas de advertencia de estas condiciones a fin de que el usuario envíe el dato adecuado, como puede verse en las figuras 3.33 y 3.34.

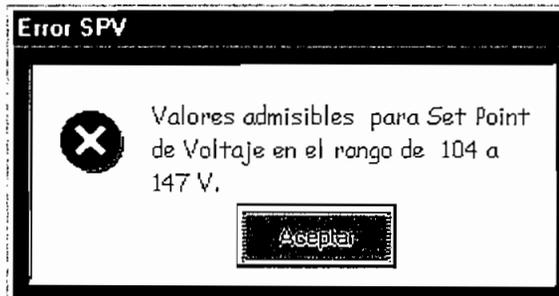


Figura 3.33 Pantalla ERROR DATO SPV

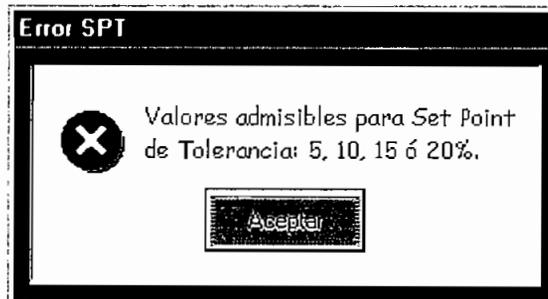


Figura 3.34 Pantalla ERROR DATO SPT

Private Sub cmdaceptarVOL_Click() y Private Sub cmdaceptarTOL_Click(). Botones Aceptar

Con estos botones se descarga cualquiera de estas dos pantallas para regresar a la de Envío de Datos y escribir los valores en los cuadros de texto dentro de los rangos establecidos.

7. Submenú: INTERRUPTORES ESTÁTICOS

En esta ventana se actualiza cada 2.5 el estado de los interruptores en PC y con el botón ON/OFF se ejecutará la orden de conexión o desconexión con la consecuente respuesta del cambio de estado que presenten los interruptores.



Figura 3.35 Pantalla INTERRUPTORES ESTÁTICOS

Private Sub Form_Load()

Borra el dato del cuadro de texto para abrir el puerto, envía el carácter (7) y habilita el contador a fin de actualizar cada 2.5 segundos el estado de los interruptores.

Private Sub MSComm1_OnComm()

Este evento se ejecuta al recibir un dato en el buffer de entrada que es la respuesta del RESM al carácter (7) enviado cada 2.5 seg desde el PC. Si el dato es 1 los interruptores están cerrados mostrándose en el cuadro de texto el mensaje

“Interruptores Cerrados”. Si el dato es 2 los interruptores están abiertos mostrándose en el cuadro de texto el mensaje “Interruptores Abiertos”.

Private Sub cmdonoff_Click(). Botón ON/OFF

Envía el carácter (4) para conectar o desconectar por PC los interruptores de potencia.

Private Sub Timer1_Timer()

Envía el carácter (7) cada vez que se han cumplido 2.5 segundos indicados en las propiedades de este control.

Private Sub cmd2salir_Click(). Botón Exit

Cierra el puerto, deshabilita el contador y descarga esta pantalla para volver al menú principal.

8. Submenú: BASE DE DATOS

Aquí se recopilan los eventos que han sido guardados en la memoria EEPROM del PIC.

Todos los datos son transmitidos a partir de la pulsación del botón ‘Iniciar’. El PIC retorna los eventos desde el último registrado hasta el ubicado en la dirección 00H de la memoria.

Cuando todos los datos han llegado al buffer de recepción del computador se muestra una pantalla de Descarga Completa para ver los eventos almacenados en el RESM en una pantalla de Excel en la que aparecerán ya clasificados y con los valores a los cuales se han producido las fallas, esto para el caso de fuera de rango con el dato adicional de fecha y hora de sistema.

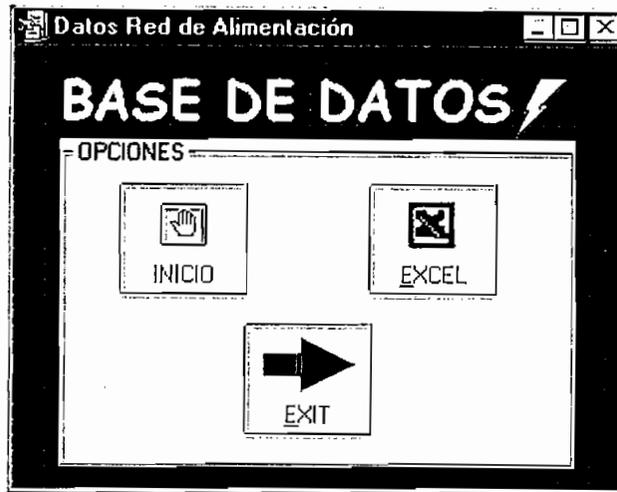


Figura 3.36 Pantalla BASE DE DATOS

Private Sub Form_Load()

Se abre el puerto y se establece en la Aplicación Excel por columnas los títulos de los eventos clasificados.

Los títulos son: SOBREVOLTAJE, para la columna 1; FALTA DE FASE para la columna 2 y FUERA DE RANGO para las columnas 3 y 4; FASE, para la columna 3, fila 2 y VALOR, para la columna 4, fila 2.

Por lo tanto, solo el evento fuera de rango consta de la fase en la que se produjo y el valor de la falla, de la misma manera como se programó el microcontrolador PIC.

Private Sub cmdinicio_Click(). Botón INICIO

El primer carácter enviado es (5) para recibir el siguiente valor correspondiente al número de datos almacenados en la memoria EEPROM del PIC el mismo que servirá para la clasificación de los eventos que se recopilen; el segundo carácter enviado de forma inmediata es (6) con el que comienza la recepción al PC de todos los datos guardados desde el último registrado hasta el ubicado en la dirección cero.

Al terminar la recepción de un número máximo de 252 datos, en el RESM la memoria indica un 0 % y en el PC sobre la pantalla en curso se despliega otra haciendo referencia a una Descarga Completa.

Para acceder a la pantalla de Excel es necesario la creación del objeto Aplicación Excel y una codificación más elaborada. Puesto que los datos que llegan al buffer son valores que representan el evento ocurrido identificado por un código y su valor, es necesario de igual manera, decodificar para ubicar cada evento en la columna correspondiente de Excel sea esta para Falta de Fase, Sobrevoltaje o Fuera de Rango conforme a lo indicado en la tabla 3.8 del apartado 3.2.3 de la programación del PIC.

Private Sub cmdexcel_Click(). Botón EXCEL

Una vez clasificados los datos que llegaron al buffer de entrada de los eventos o fallas registrados en la memoria del RESM, se indican estos en la hoja de Excel que se abre a continuación.

En la columna de Sobrevoltaje y Falta de Fase consta la fase en la que se produjo esta falla y en Fuera de Rango a más de la fase se indica el valor de esta falla. En la columna 5 se presenta el dato de fecha y hora del sistema en la que se realizó la descarga de fallas.

Los datos de Excel pueden ser analizados, graficados y guardados para llevar un historial del estado de la red de alimentación.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	FALTA DE FASE	SOBREVOLTAJE	FUERA DE RANGO	VALOR	04/03/2005 05:15:29 p.m.			
2	FASE T		FASE T	126				
3			FASE S	126				
4			FASE T	115				
5			FASE R	115				
6			FASE S	115				
7			FASE T	114				
8			FASE T	127				
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								

Figura 3.37 Eventos registrados en Excel

Private Sub MSComm2_OnComm()

En este evento se reciben todos los datos de la EEPROM en un número máximo de 252 desde el último que ha sido registrado correspondiente al valor de la falla, a continuación el código de identificación de la falla y así sucesivamente hasta el que se ubique en la dirección cero de la memoria que debe ser un código.

Con todos los datos en el buffer de entrada se decodifica los eventos revisando cada dos datos el valor de código y dependiendo de este se ubica en la columna de Excel que corresponda al evento.

Private Sub cmd2salir_Click(). Botón Exit

Cierra el puerto y descarga esta pantalla para volver al menú principal.

Como se mencionó anteriormente, cuando se descargan todos los datos aparece la siguiente pantalla:

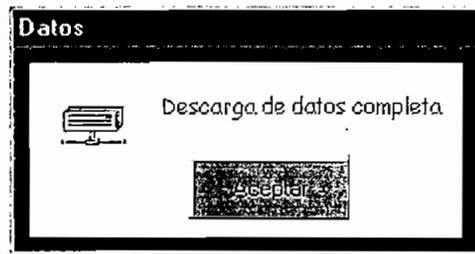


Figura 3.38 Pantalla DESCARGA COMPLETA

Private Sub cmdcompleto_Click(). Botón Aceptar

Como respuesta a este evento se descarga esta pantalla, para regresar a Datos de la Red de Alimentación.

Una vez que todos los eventos hayan sido transmitidos, el estado de la memoria es 0% lo que indica que el número de datos también es cero. Ante esto, si se pulsa nuevamente el botón INICIAR aparece una pantalla con la información de que no existen datos por descargar y se deshabilita el botón de Excel.



Figura 3.39 Pantalla NO HAY DATOS POR DESCARGAR

Private Sub cmdningun_Click(). Botón Aceptar

Se descarga la pantalla No hay datos, para volver a Datos de la Red de Alimentación.

9. Submenús: SOPORTE TÉCNICO Y SOFTWARE DE APLICACIÓN

Estas pantallas dan una información general del proyecto, en lo referente al RESM y la aplicación generada en Visual Basic.

Private Sub cmd2salir_Click(). Botón EXIT

Con este botón se descarga Soporte Técnico o Software de Aplicación, para retornar al menú principal.



Figura 3.40 Pantalla Información RESM

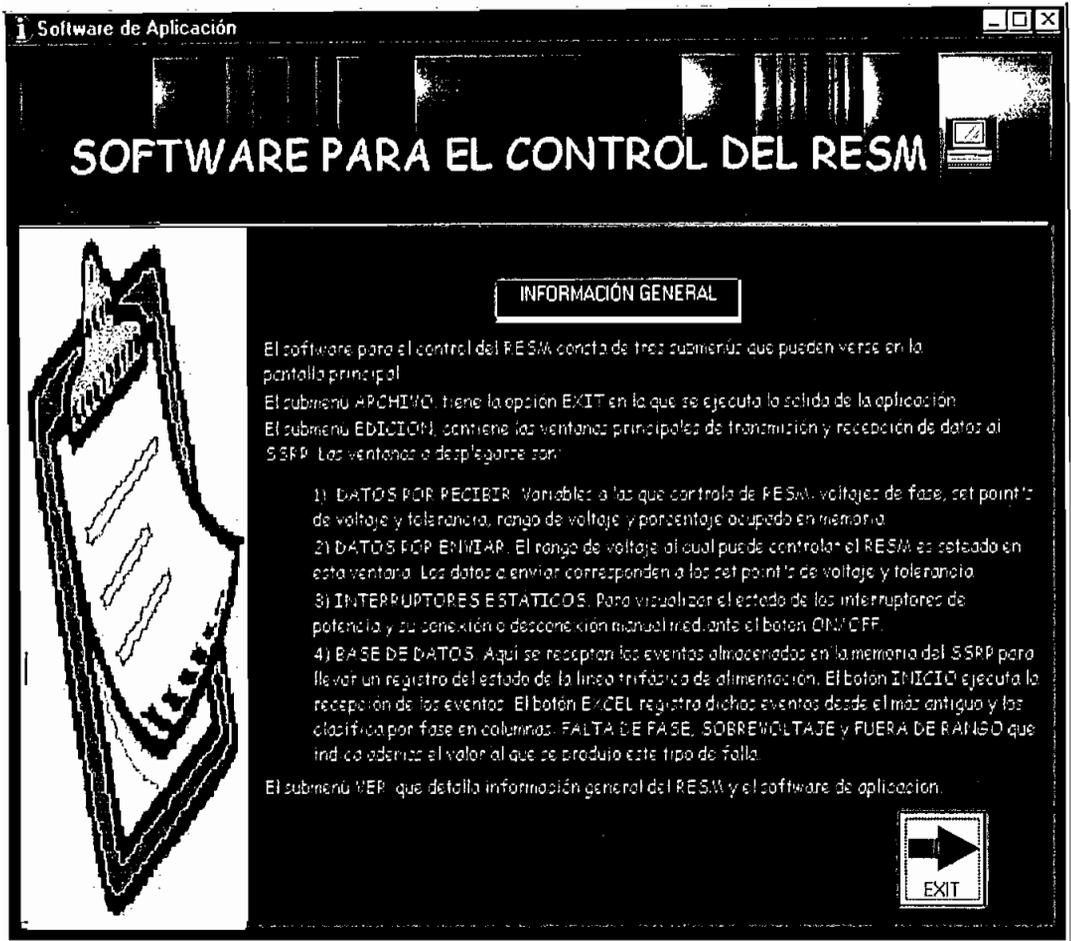


Figura 3.41 Pantalla SOFTWARE DE APLICACIÓN

CAPÍTULO 4

Pruebas de funcionamiento y Análisis de resultados

CAPITULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de comprobar el funcionamiento del prototipo Relé de Estado Sólido Microcontrolado RESM, se realizan un grupo de pruebas para evaluar la capacidad del prototipo y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Las pruebas realizadas son:

- Confiabilidad en los límites de operación.
- Transmisión de datos.

Para conseguir un voltaje trifásico variable, se conectan tres autotransformadores monofásicos de voltaje de entrada 120 V y salida de 0 a 145 V. La carga se conecta en configuración estrella con neutro.

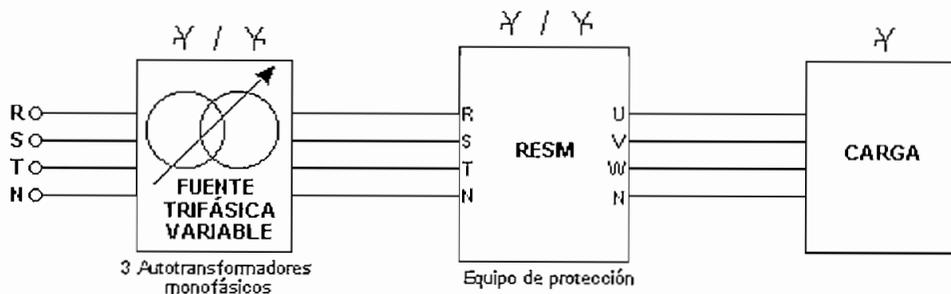


Figura 4.1 Conexión de equipos para pruebas

Los rangos de control indicados a continuación, son los que genera el microcontrolador con el algoritmo que se indicó en el capítulo 3, apartado 3.2.2. Se

puede considerar un pequeño margen de error en el cálculo de los límites del rango que se debe a la subrutina de división que opera con enteros.

Este efecto se puede observar también en los valores reales que establezca el microcontrolador para un cierto voltaje de alimentación, a partir de los valores digitales obtenidos después de la conversión AD.

Cabe recalcar también la influencia de los factores de multiplicación utilizados para generar estos dos tipos de datos para un mismo voltaje de alimentación y que depende además del acondicionamiento descrito en el capítulo 2, apartado 2.3.2.

4.2 CONDICIONES INICIALES PARA PRUEBAS

Para una entrada de $120V_{RMS}$ por fase a partir de la cual se inician las pruebas, el voltaje proporcional y acondicionado es $3.1V_{DC}$. Este voltaje ingresa al PIC y conforme a la ejecución del programa, el valor real obtenido y que se presenta en el LCD es 120V.

La figura 4.2 expone la gráfica tomada en el osciloscopio del voltaje y la corriente de salida en el canal 1 y canal 2 respectivamente, para una carga resistiva, cuando en la entrada se tiene 120V.

La punta de voltaje, la pinza de corriente y la escala en amplitud del osciloscopio están calibrados para dar valores directos de voltaje y corriente.

Los valores medidos con el multímetro y el osciloscopio se resumen la tabla 4.1.

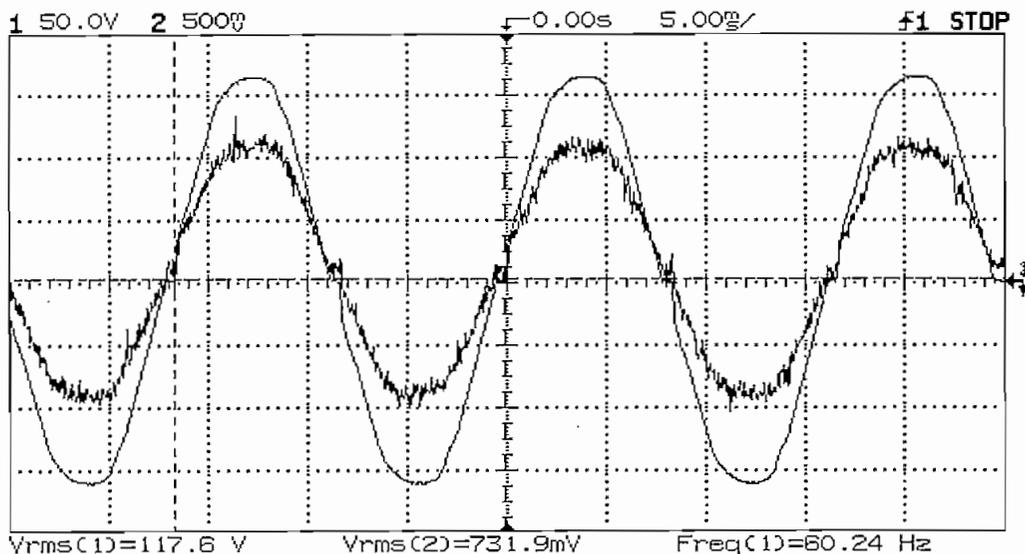


Figura 4.2 Voltaje y corriente de salida para una carga resistiva a 120 V_{in}

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de entrada RMS	120V
Voltaje de salida RMS	117.6V
Voltaje de salida pico-pico	329.7V
Corriente de salida RMS	731.9mA
Corriente de salida pico-pico	2.219A
Frecuencia	60.24Hz

Tabla 4.1 Valores medidos a partir de la gráfica de la figura 4.2

En la figura anterior se observa el voltaje y la corriente en fase para una carga resistiva. La caída a través de los interruptores es aproximadamente 3V.

4.3 CONFIABILIDAD EN LOS LÍMITES

La confiabilidad en los límites es un análisis en los valores superior e inferior de un rango de control establecido, para encontrar una exactitud o tolerancia que el límite admita al evaluar un voltaje fuera y dentro del rango.

Para encontrar la exactitud en cualquier límite, se consideran 3 rangos de control establecidos a través de la interfase con el usuario; se toman 10 muestras de voltaje de entrada a los cuales se estima un fuera de rango para dar lugar a una desconexión y 10 muestras más para reconocer un voltaje dentro del rango y permitir una conexión.

Los rangos que se indique son los que el microcontrolador ha calculado a partir de los datos de las referencias (set point's) de voltaje y tolerancia, y como se indicó anteriormente los resultados dependerán de los algoritmos matemáticos.

Si los voltajes de entrada a los que se detecte una conexión o desconexión de los interruptores están dentro del rango de control, los valores de exactitud o tolerancia en el límite son positivos, caso contrario, se consideran como negativos, con el propósito de aplicar estas definiciones en la determinación de un valor global de exactitud.

4.3.1 ANÁLISIS DE LA DESCONEXIÓN EN LOS LÍMITES

1. Rango establecido:

Set point de Voltaje	Set Point de Tolerancia	Rango de Control
120 V	5 %	115 V – 125 V

En el límite inferior de 115V, la tabla 4.2 indica los voltajes a los que se produce un fuera del rango de control y dar lugar a una desconexión de los interruptores; la figura 4.3 presenta la gráfica de dispersión correspondiente.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE DESCONEXIÓN [V]	115.0	115.2	115.4	115.2	115.4	115.5	115.3	115.3	115.2	115.4

Tabla 4.2 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 115 V

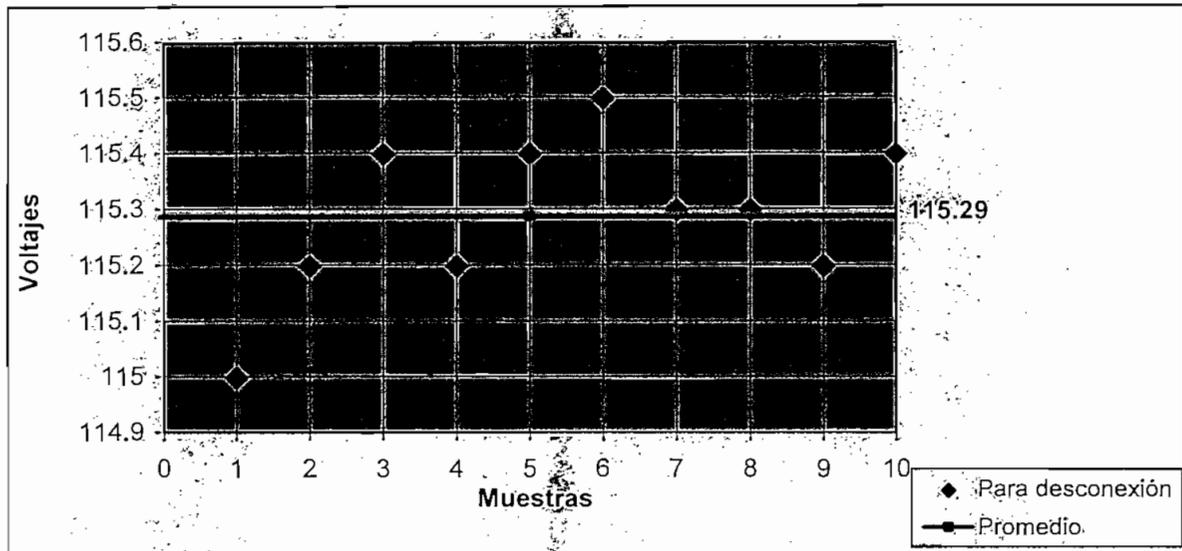


Figura 4.3 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 115 V

El voltaje promedio para desconexión es 115.29V y la exactitud con respecto al límite inferior de 115V es 0.29V. Con estos datos se considera un fuera de rango en un valor mayor en 0.29V al límite inferior establecido de 115V.

En el límite superior de 125 V, la tabla 4.3 indica los voltajes a los cuales se produce un fuera del rango de control para una desconexión de los interruptores. La figura 4.4 expone la gráfica de dispersión.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE DESCONEXIÓN [V]	124.3	124.2	123.9	124.4	124.1	124.3	124.3	124.2	124.3	124.5

Tabla 4.3 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 125 V

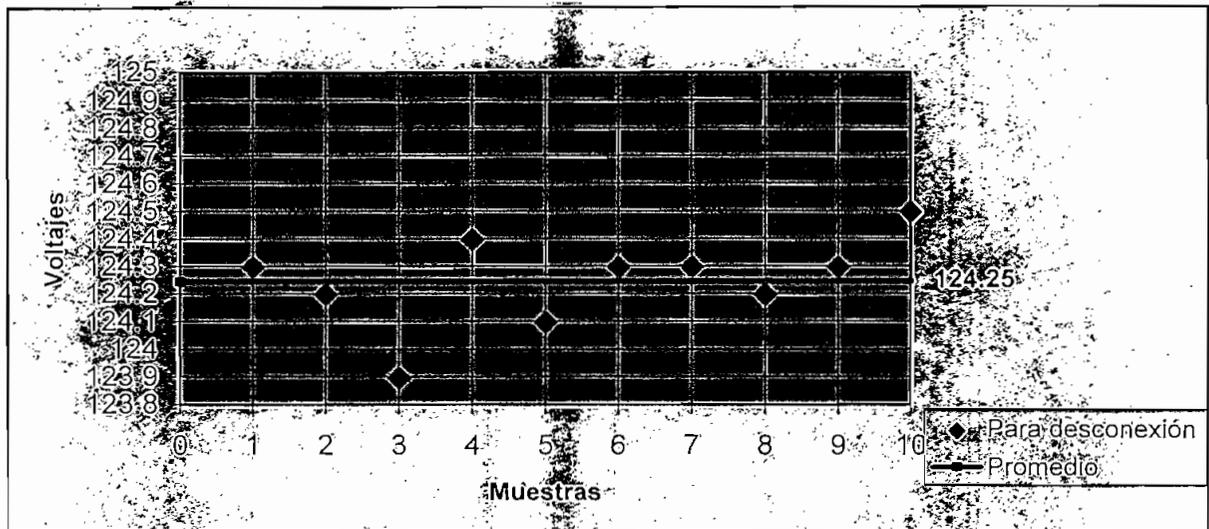


Figura 4.4 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 125 V

El voltaje promedio para desconexión es 124.25V y la exactitud con respecto al límite superior de 125V es 0.75V. Eso es, en el límite superior se considera un voltaje un fuera de rango en un valor menor en 0.75V.

2. Rango establecido:

Set point de Voltaje	Set Point de Tolerancia	Rango de Control
115 V	15 %	100 V – 130 V

En el límite inferior de 100V, la tabla 4.4 indica los voltajes considerados fuera del rango de control y la figura 4.5 presenta la dispersión de estas 10 muestras.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE DESCONEXIÓN [V]	102.2	102.3	102.1	102.3	102.0	102.1	102.4	102.3	102.2	102.3

Tabla 4.4 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 100 V

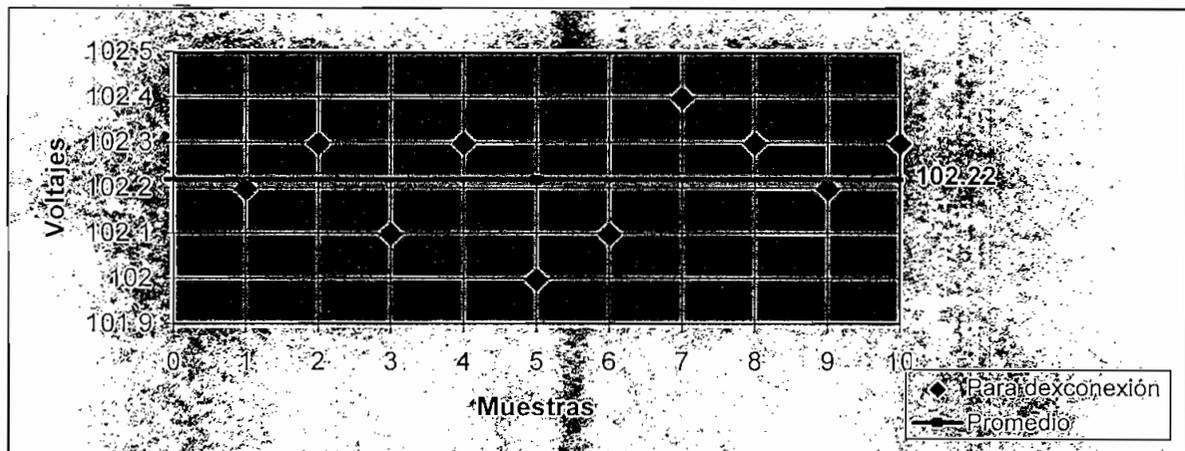


Figura 4.5 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 100 V

El voltaje promedio para desconexión es 102.22V y la exactitud con respecto al límite inferior de 100V es 2.22V. Por lo tanto, se produce un fuera de rango en 2.22V antes del límite inferior.

En el límite superior de 130V, las muestras de voltaje a los cuales se genera un fuera del rango de control se indica en la tabla 4.5 y la gráfica de dispersión en la figura 4.6.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE DESCONEXIÓN [V]	128.2	127.7	127.8	127.7	127.5	127.8	127.9	127.7	127.8	127.7

Tabla 4.5 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 130 V

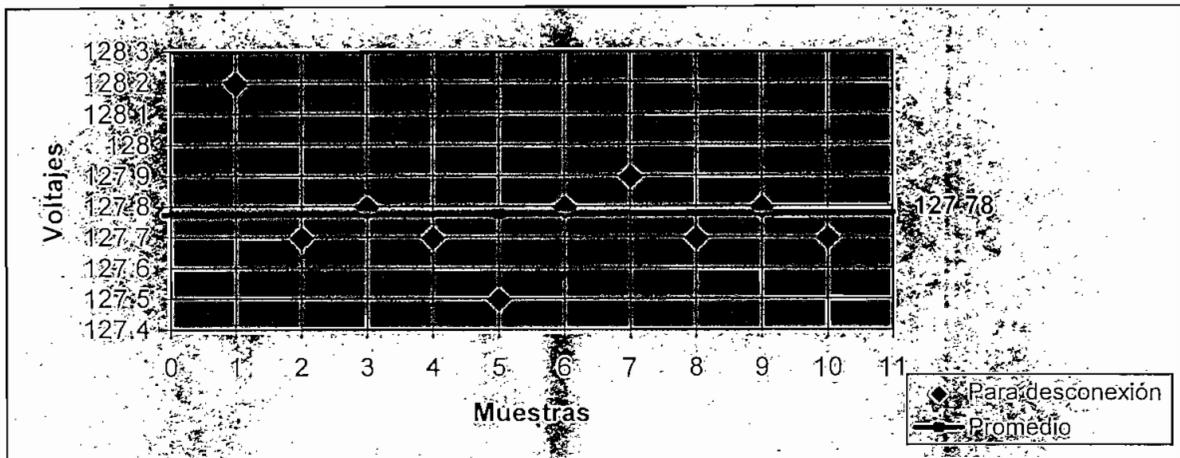


Figura 4.6 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 130 V

El voltaje promedio para desconexión es 127.78V y la exactitud con respecto al límite superior de 130V es 2.22V. Para este caso, se considera un fuera de rango en 2.22V bajo el límite superior.

3. Rango establecido:

Set point de Voltaje	Set Point de Tolerancia	Rango de Control
127 V	10 %	117 V – 137 V

Para el límite inferior de 117V, los voltaje registrados que dan lugar a la apertura de los interruptores por considerarse fuera del rango establecido, se especifican en la tabla 4.6 y la dispersión correspondiente en la figura 4.7.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE DESCONEXIÓN [V]	116.7	116.9	116.6	116.8	116.5	116.9	116.8	116.7	117.0	116.9

Tabla 4.6 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 117 V

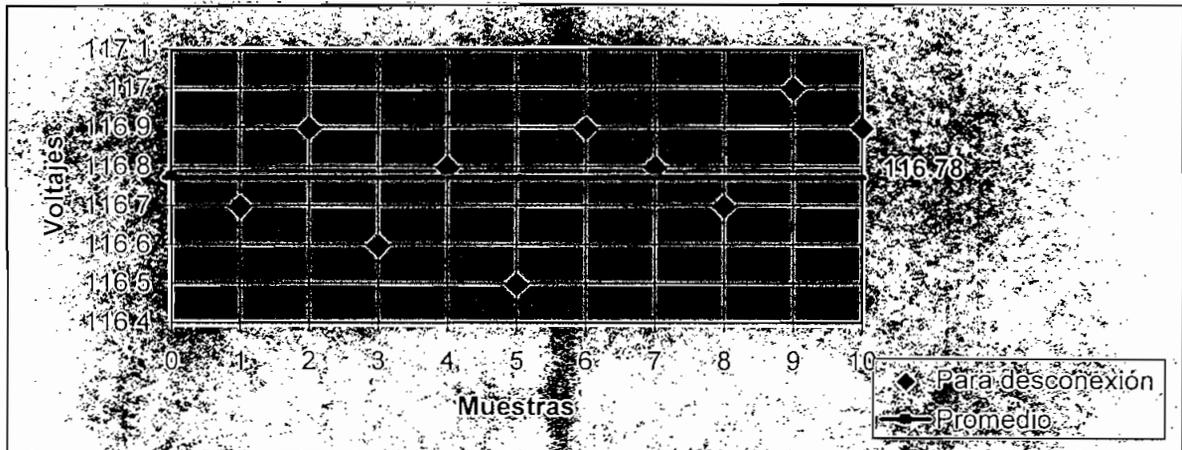


Figura 4.7 Curva de dispersión para establecer la tolerancia en el límite de 117 V

El voltaje promedio de las 10 muestras para desconexión es 116.78V y la exactitud a la que se admite una apertura por fuera de rango con respecto al límite de 117V es 0.22V. Por lo tanto, para este caso se establece un voltaje fuera de rango en un nivel menor en 0.22V al límite inferior de 117V .

En el límite superior de 137V, se puede observar los voltajes que se encuentran fuera del rango de control en la tabla 4.7 y la gráfica de dispersión en la figura 4.8.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE DESCONEXIÓN [V]	134.5	134.7	134.4	134.3	134.2	134.4	134.2	134.3	134.2	134.3

Tabla 4.7 Valores medidos para establecer un voltaje fuera del rango en el límite de 137 V

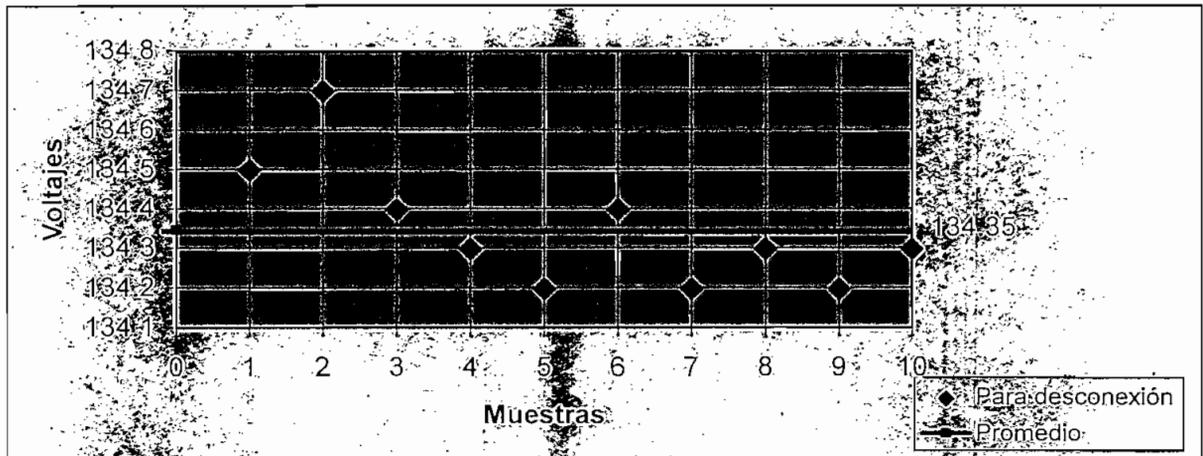


Figura 4.8 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 137 V

El voltaje promedio de los valores para desconexión es 134.35V y la exactitud con respecto al límite superior es 2.65V; esto indica que la apertura se produce en un valor 2.65V antes que el límite establecido.

A continuación se define un valor de exactitud para cualquier límite en la se admita un voltaje fuera del rango de control, a partir de una gráfica con los datos de

exactitud obtenidos para cada uno de los límites de los tres rangos de control considerados anteriormente y se resumen en la siguiente tabla:

LÍMITE [V]	100	115	117	125	130	137
EXACTITUD [V]	2.22	0.29	-0.22	0.75	2.22	2.65

Tabla 4.8 Resumen de los valores de exactitud de los límites analizados para desconexión

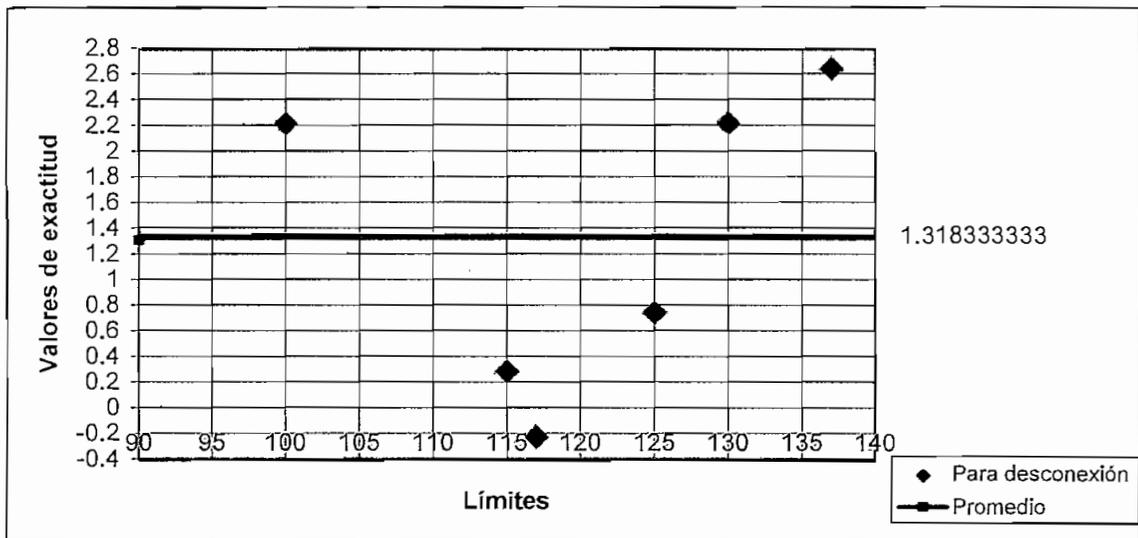


Figura 4.9 Curva de dispersión para establecer la exactitud en la desconexión

La gráfica anterior, muestra una exactitud de $\pm 1.32V$, en los límites inferior y superior respectivamente, establecidos mediante las referencias de voltaje y tolerancia, al detectar un voltaje fuera del rango de control.

4.3.2 ANÁLISIS DE LA CONEXIÓN EN LOS LÍMITES

1. Rango establecido:

Set point de Voltaje	Set Point de Tolerancia	Rango de Control
120 V	5 %	115 V – 125 V

En el límite inferior de 115V, la tabla 4.9 indica los voltajes que constan dentro del rango de control y que permiten una conexión de los interruptores; la figura 4.10 presenta la gráfica de dispersión correspondiente.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE CONEXIÓN [V]	115.8	115.7	115.8	115.6	115.8	115.9	115.7	115.6	115.9	115.8

Tabla 4.9 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 115 V

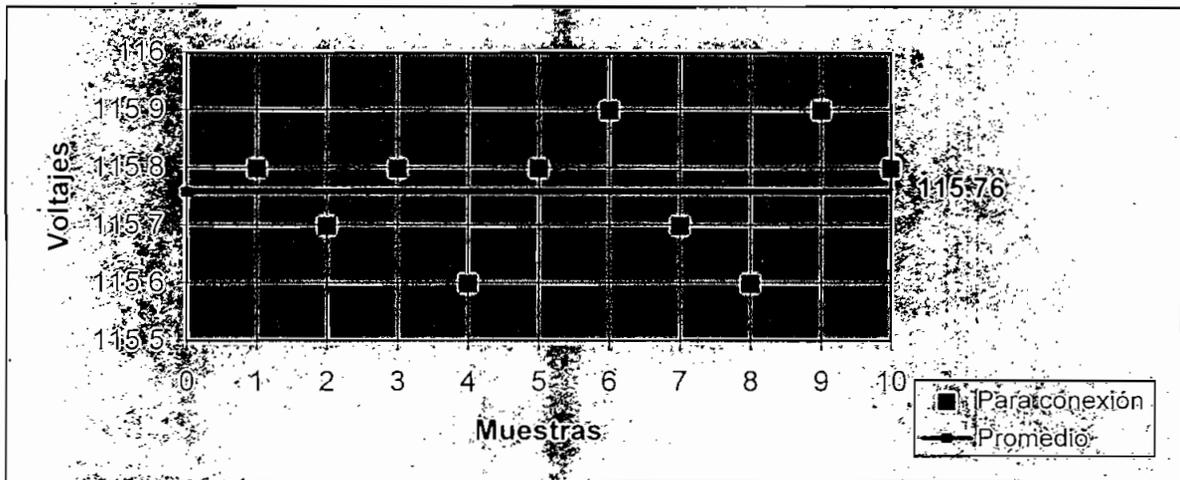


Figura 4.10 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 115 V

El voltaje promedio para conexión es 115.76V y la exactitud con respecto al límite inferior de 115V es 0.76V. Con estos datos se considera un voltaje dentro del rango en un valor mayor en 0.76V al límite inferior establecido de 115V.

En el límite superior de 125V, la tabla 4.10 indica los voltajes a los cuales se puede realizar una conexión puesto que están dentro del rango. La figura 4.11 expone la gráfica de dispersión.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE CONEXIÓN [V]	123.4	123.2	123.5	123.3	123.3	123.4	123.2	123.2	123.4	123.5

Tabla 4.10 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 125 V

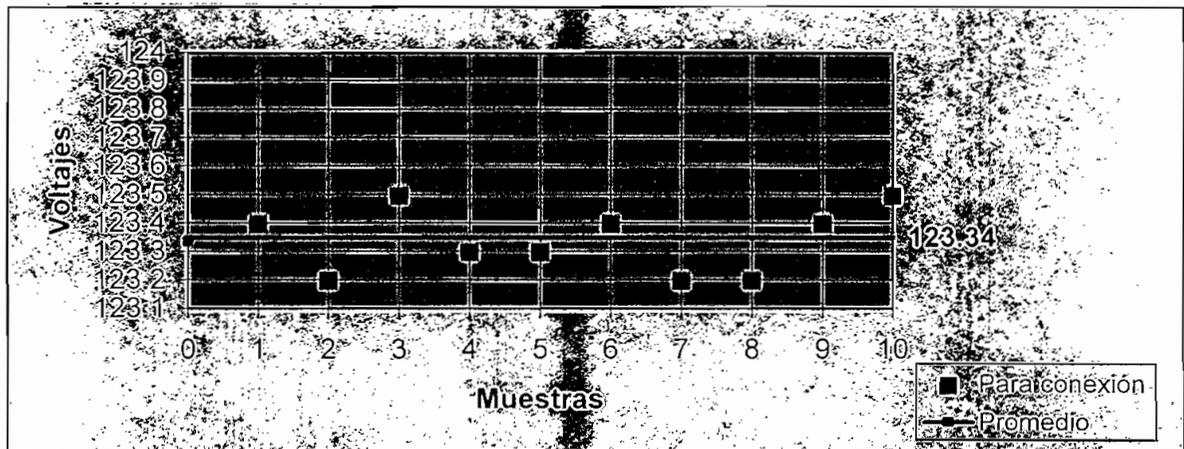


Figura 4.11 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 125 V

El voltaje promedio es 123.34V y la exactitud con respecto al límite superior de 125V es 1.66V. Eso es, en el límite superior se considera un voltaje dentro del rango en un valor menor en 1.66V.

2. Rango establecido:

Set point de Voltaje	Set Point de Tolerancia	Rango de Control
115 V	15 %	100 V – 130 V

En el límite inferior de 100V, la tabla 4.11 indica los voltajes considerados dentro del rango de control y la figura 4.12 presenta la dispersión de estas 10 muestras.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE CONEXIÓN [V]	102.3	102.4	102.5	102.4	102.4	102.6	102.5	102.4	102.4	102.5

Tabla 4.11 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 100 V

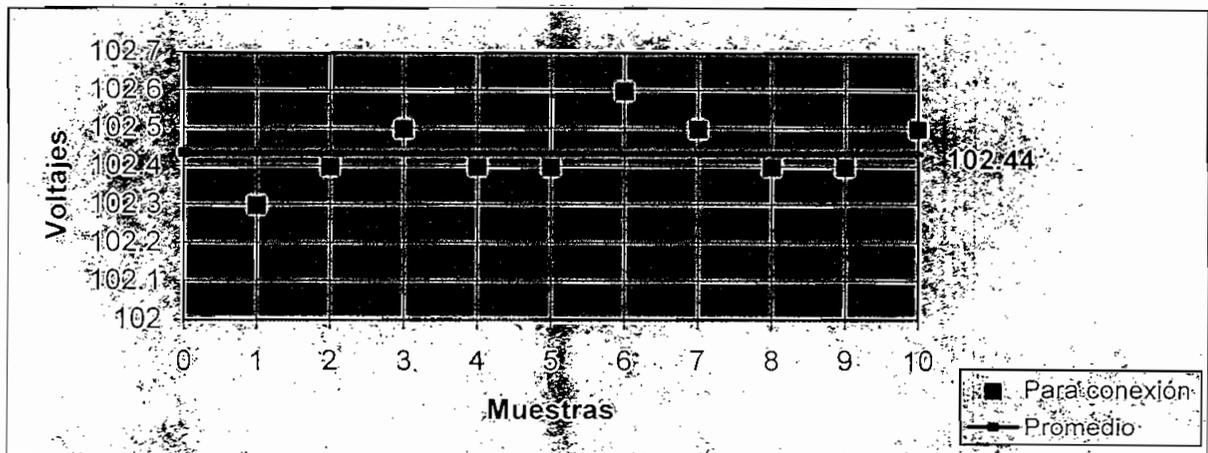


Figura 4.12 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 100 V

El voltaje promedio para conexión es 102.44V y la exactitud con respecto al límite inferior de 100V es 2.44V. Por lo tanto, en el límite inferior se considera un voltaje dentro del rango de control en un valor mayor en 2.44V.

En el límite superior de 130V, las muestras de voltaje que se encuentran dentro del rango de control se indica en la tabla 4.12 y la gráfica de dispersión en la figura 4.13.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE CONEXIÓN [V]	127.5	127.4	127.5	127.6	127.4	127.5	127.3	127.6	127.5	127.5

Tabla 4.12 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 130 V

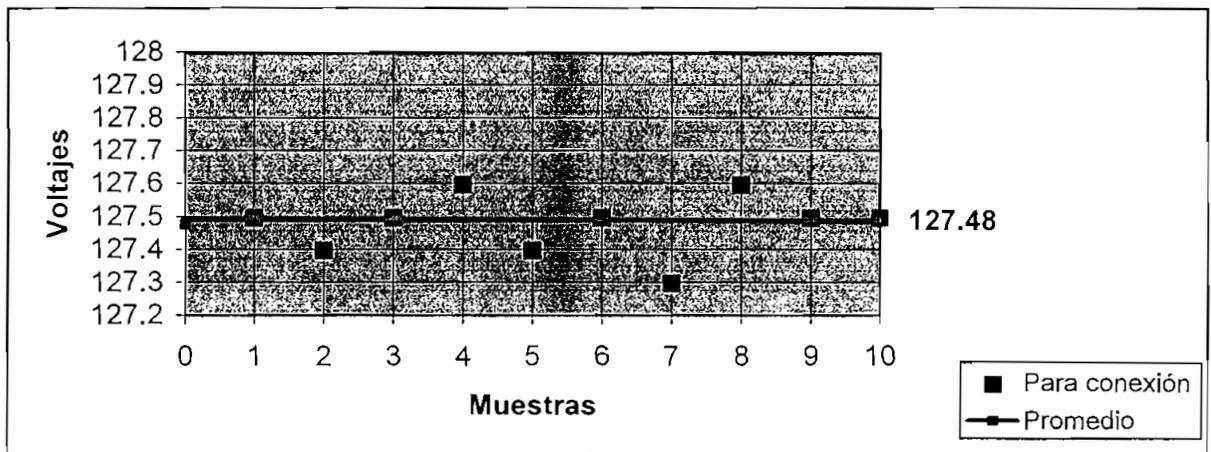


Figura 4.13 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 130 V

El voltaje promedio es 127.48V y la exactitud con respecto al límite superior de 130V es 2.52V. Para este caso, se considera voltaje dentro del rango en 2.52V bajo el límite superior.

3. Rango establecido:

Set point de Voltaje	Set Point de Tolerancia	Rango de Control
127 V	10 %	117 V – 137 V

Para el límite inferior de 117V, los voltaje registrados que dan lugar a la conexión de los interruptores por considerarse dentro del rango establecido, se especifican en la tabla 4.13 y la dispersión correspondiente en la figura 4.14.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE CONEXIÓN [V]	117.3	117.4	117.3	117.1	117.0	117.3	117.0	117.1	117.1	117.3

Tabla 4.13 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 117 V

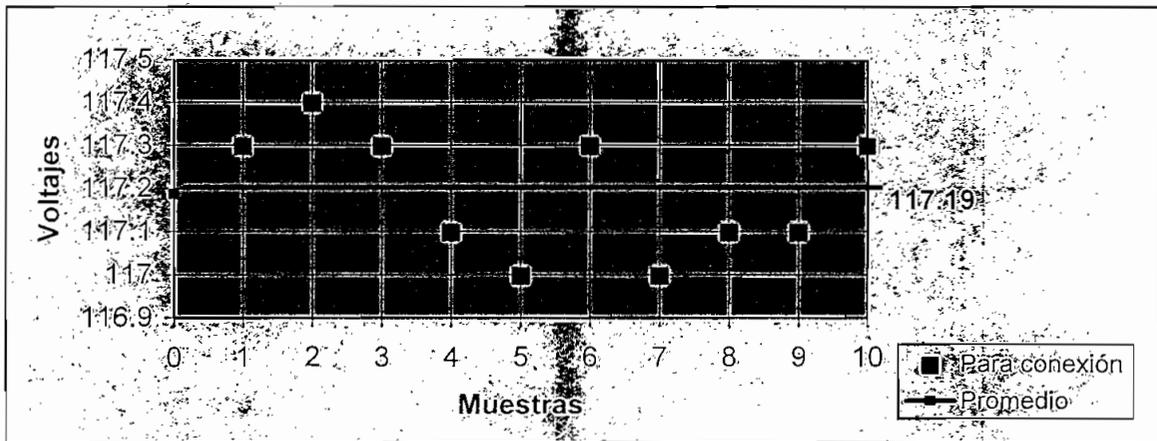


Figura 4.14 Curva de dispersión para establecer la tolerancia en el límite de 117 V

El voltaje promedio de las 10 muestras para conexión es 117.19V y la exactitud a la que se admite una conexión por encontrarse estos voltajes dentro del rango de

control con respecto al límite de 117V es 0.19V. Por lo tanto, para este caso se establece un voltaje dentro del rango a 0.19V más que el límite inferior de 117V.

En el límite superior de 137V, se puede observar los voltajes a partir de los cuales se permite una conexión en la tabla 4.14 y la gráfica de dispersión en la figura 4.15.

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VALOR DE CONEXIÓN [V]	134.0	134.1	134.1	133.8	134.1	133.8	134.0	134.1	134.1	133.9

Tabla 4.14 Valores medidos para establecer un voltaje dentro del rango en el límite de 137 V

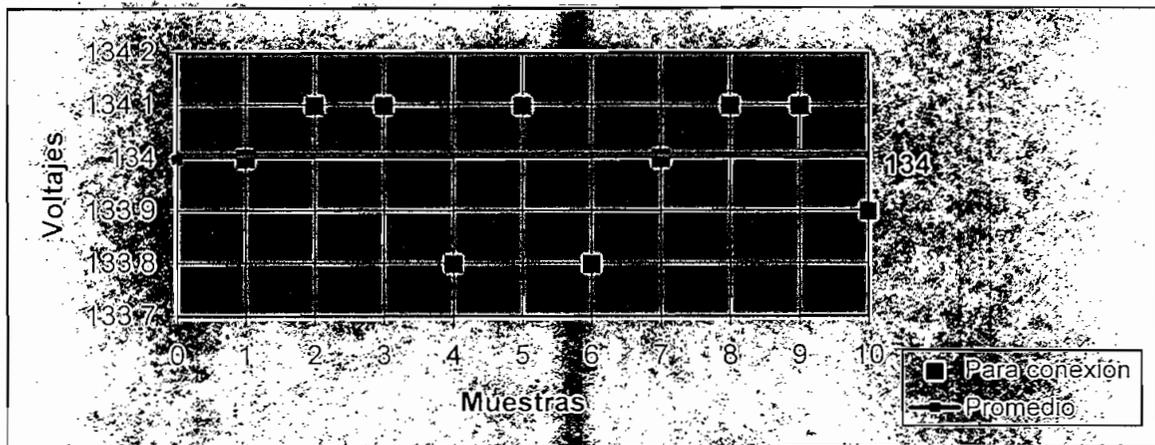


Figura 4.15 Curva de dispersión para establecer la exactitud en el límite de 137 V

El voltaje promedio de los valores para conexión es 134V y la exactitud con respecto al límite superior es 3V, que indica que la conexión se produce en un valor 3V antes que el límite establecido.

A continuación se define un valor de exactitud para cualquier límite en la se admita un voltaje dentro del rango, a partir de una gráfica con los datos de exactitud obtenidos para cada uno de los límites establecidos en los tres rangos de control considerados anteriormente y se resumen en la siguiente tabla:

LÍMITE [V]	100	115	117	125	130	137
EXACTITUD [V]	2.44	0.76	0.19	1.66	2.52	3

Tabla 4.15 Resumen de los valores de exactitud de los límites analizados para conexión

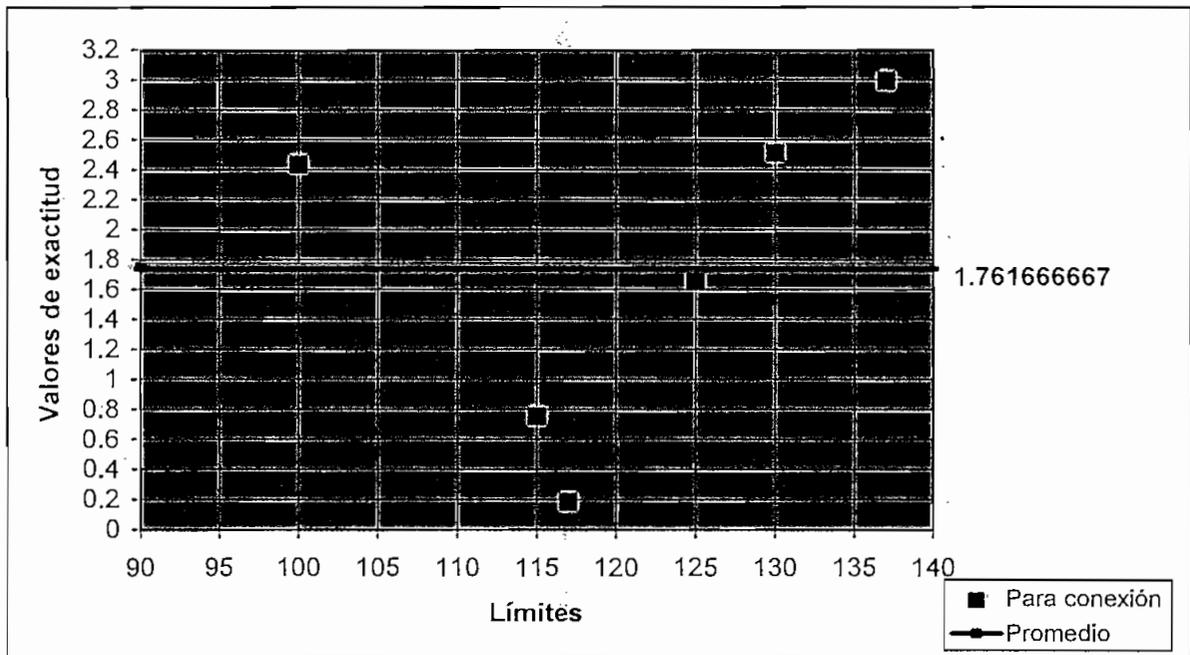


Figura 4.16 Curva de dispersión para establecer la exactitud en la conexión

La gráfica anterior, muestra una exactitud de $\pm 1.77V$, en los límites inferior y superior respectivamente, establecidos mediante las referencias de voltaje y tolerancia, al detectar un voltaje dentro del rango de control.

4.3.3 DEFINICIÓN DE LA EXACTITUD O TOLERANCIA EQUIVALENTE EN LOS LÍMITES DEL RANGO DE CONTROL

Los resultados obtenidos de los análisis precedentes se resumen en la tabla 4.16 y su interpretación gráfica en la figura 4.17.

Los datos a observar, corresponden a las exactitudes o tolerancias en los límites de un rango de control establecido conforme a los requerimientos de la carga a proteger, al detectar voltajes dentro y fuera del rango a fin de permitir una conexión o desconexión de los interruptores, respectivamente.

	EXACTITUD
Para conexión	$\pm 1.77V$
Para desconexión	$\pm 1.32V$
Promedio	$\pm 1.545V$

Tabla 4.16 Resumen de los valores de exactitud de los límites analizados para conexión y desconexión

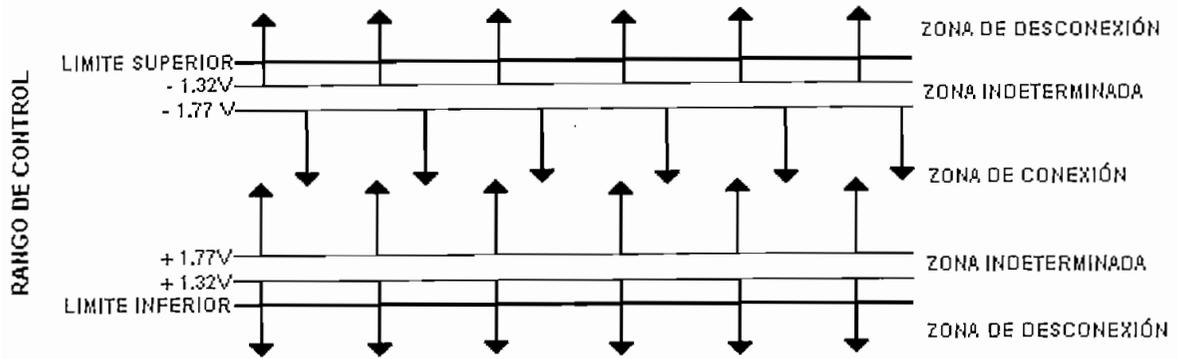


Figura 4.17 Interpretación gráfica de los valores de la tabla 4.16

Las zonas indeterminadas son probabilísticas, en las que puede darse una conexión o una desconexión.

De las exactitudes indicadas en la tabla anterior, se obtiene un valor de exactitud global (promedio) para cualquier límite de operación, dado por:

$$\text{Límite de operación estabilizado } \pm 1.545V \text{ de exactitud}$$

Esto garantiza que un voltaje que pase por el límite sea considerado como dentro o fuera del rango sin exceder la exactitud o tolerancia fijada para el prototipo. El valor de exactitud puede variar según el tipo de carga y la respuesta del circuito de acondicionamiento de los voltajes de entrada.

4.4 TRANSMISIÓN DE DATOS

En esta prueba se generan diversas fallas con el fin de descargarlas en la hoja de Excel del software de aplicación en el PC y que deberán coincidir en el orden en que se hayan producido. El rango de voltaje establecido para realizar esta prueba es:

Set point de Voltaje	Set Point de Tolerancia	Rango de Control
120 V	5 %	115 V – 125 V

Las fallas generadas se dieron en el siguiente orden:

Orden	Tipo de Falla
1	Fuera de Rango S sobre el límite superior
2	Fuera de Rango S sobre el límite superior
3	Fuera de Rango S bajo el límite inferior
4	Fuera de Rango S bajo el límite inferior
5	Fuera de Rango S bajo el límite inferior
6	Fuera de Rango S bajo el límite inferior
7	Fuera de Rango S bajo el límite inferior
8	Fuera de Rango T bajo el límite inferior
9	Fuera de Rango T sobre el límite superior
10	Fuera de Rango S sobre el límite superior
11	Fuera de Rango R sobre el límite superior
12	Fuera de Rango T bajo el límite inferior
13	Falta de fase S
14	Falta de fase T

Tabla 4.17 Fallas generadas

La memoria antes de la descarga indica un 12%, esto significa que hay un total de 32 datos almacenados, como se indicó en el apartado 3.2.2.

La figura 4.18 muestra las fallas registradas y transmitidas desde el prototipo a la aplicación del PC en una hoja de Excel. Como puede verse están clasificadas conforme al tipo, con el valor adicional para los fuera de rango, la hora y fecha del sistema y en el orden descrito en la tabla anterior.

Las dos últimas fallas generadas al retirar la alimentación de los autotransformadores correspondientes y ubicadas en la columna falta de fase, son los mismos fuera de rango para las fases S y T con los valores de 51 V y 103 V respectivamente, detectadas así por el prototipo.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	FALTA DE FASE	SOBREVOLTAJE	FUERA DE RANGO		01/03/05 18:09			
2			FASE	VALOR				
3	FASE S		FASE S	126				
4	FASE T		FASE S	126				
5			FASE S	114				
6			FASE S	114				
7			FASE S	115				
8			FASE S	114				
9			FASE S	114				
10			FASE T	114				
11			FASE T	127				
12			FASE S	126				
13			FASE R	126				
14			FASE T	114				
15			FASE S	51				
16			FASE T	103				
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								

Figura 4.18 Fallas transmitidas a la hoja de Excel del HMI

Esto se debe a la respuesta de los circuitos: rectificador y de acondicionamiento para falta de fase indicados en los apartados 2.3.2 y 2.3.3 del capítulo 2 debido a los filtros que contienen.

Sin embargo la respuesta general del prototipo ante la detección de los tres tipos de falla y la consecuente apertura de la carga a la fuente trifásica como medida de protección, es mucho menor a la que ofrece un relé electromecánico convencional. Esto caracteriza al prototipo como efectivo y eficiente en el control que realiza.

Cabe recordar, las restantes opciones que integra el prototipo como son: la visualización de variables, el establecimiento de rangos de control, almacenamiento de fallas, transmisión y recepción de datos a un computador personal.

Al prototipo RESM se puede incorporar otras acciones de control para conseguir un sistema completo de protección eléctrica, con mejores características de rapidez de respuesta, que garanticen seguridad a la carga.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y Recomendaciones

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se ha diseñado e implementado el prototipo relé de estado sólido con microcontrolador RESM que lo caracteriza como un dispositivo de protección inteligente, cumpliendo con el objetivo planteado al inicio del proyecto.
- El prototipo es compacto, de fácil manejo por parte del usuario y debidamente protegido.
- Tanto el hardware como el software que integran el RESM son flexibles, permiten incorporar otros elementos y adaptar más algoritmos, para ampliar el control a la supervisión de corriente y convertir al prototipo en un equipo completo de protección acorde a las exigencias a nivel industrial.
- El voltaje de entrada es analizado constantemente debido a la rapidez del microcontrolador en ejecutar el programa de control y con ello la detección de las fallas en el momento que se presentan con la consecuente apertura de los interruptores.
- El tiempo para la apertura de los interruptores estáticos es mucho menor en comparación al de un relé electromecánico para una misma capacidad de corriente.
- El prototipo responde de manera rápida y eficaz al producirse los tres tipos de fallas, además permite interactuar con un computador a través del software de

aplicación instalado en el mismo, adaptable y de fácil manejo por parte del usuario.

- El prototipo se adapta correctamente a la reconexión automática de los interruptores, puesto que al restablecerse el voltaje después de una falla, el retardo adicional de 20 segundos asegura que dicho voltaje esté dentro del rango de control y permita alimentar nuevamente a la carga. Esto es útil en aplicaciones en las que el operador no pueda supervisar los equipos de forma continua, evitando así que cualquier carga deje de funcionar al haberse eliminado la falla.
- Existe concordancia entre el comportamiento prácticamente lineal del circuito de acondicionamiento ante las variaciones del voltaje de alimentación y el algoritmo que define los valores reales y digitales correspondientes, esto hace que el margen de error entre el voltaje de entrada y el que obtenga el microcontrolador sea pequeño, que no influye en el objetivo primordial del prototipo, la rapidez de apertura de los interruptores frente a una falla.
- La memoria EEPROM que tiene incorporado el microcontrolador es muy importante para este proyecto. Las fallas almacenadas al instante en que se producen, permiten establecer el estado de las fases que conforman el sistema trifásico de alimentación. Con esto se puede llevar un registro histórico con el fin de analizar en que punto del sistema se producen más fallas y de que tipo, a fin de tomar las acciones correctivas pertinentes.
- Los opto-triacs establecen un efectivo aislamiento entre el circuito de bajo nivel o de control con respecto al de potencia o de alto nivel.
- Al colocar un 1L constante en los pines para la activación de los SCR's, no afecta este valor continuo a las compuertas de estos elementos, puesto que al ser activado el SCR que tenga las condiciones adecuadas, constituye un

cortocircuito que inhibe esta señal durante el semiciclo que dure su activación hasta el cruce por cero de la corriente, punto en que la señal continua actúa para activar el otro SCR del antiparalelo en el que se cumple esta misma condición. Otra consideración es que una señal de activación continua para los SCR's, permite la conexión de la carga en cualquier configuración, esto es en delta o en estrella con y sin neutro.

- El microcontrolador PIC16F877 puede ser utilizado para innumerables aplicaciones al presentar muchas ventajas tanto en los elementos que tiene incorporados como en la forma de programación, mediante la generación del código fuente en el programa MPLAB que posee un ambiente de trabajo sencillo, una rápida corrección de errores y la simulación en tiempo aproximado al real.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un análisis más detenido respecto a la variación del voltaje acondicionado para obtener una aproximación lineal que confine a todos los valores de las muestras tomadas, de esto depende que el algoritmo en el microcontrolador obtenga un dato lo más exacto posible que refleje el valor real de voltaje de alimentación en un rango amplio.
- Es necesario implementar un circuito adicional para recargar la batería de respaldo, ya que en el presente proyecto se tiene una batería de tipo primario en la que no es posible recuperar el estado de carga y que suministrará corriente por un tiempo limitado en funcionamiento continuo.
- Para almacenar las fallas con un tiempo real adicional como es hora y fecha, se recomienda utilizar un integrado especializado que cumpla con esta función, aunque el conteo de los segundos, minutos, días, meses y años se puede realizar directamente con el microcontrolador; el reloj en tiempo real DS1307 cumple con las necesidades normales en la adquisición y registro de tiempo, siendo un reloj calendario en BCD; el microcontrolador accede a este elemento con el protocolo I²C. De esta manera al descargar los datos en la hoja de Excel del software de aplicación que debe ser cambiado para esta condición, se podrán registrar los eventos con una información adicional y específica para cada falla.
- Hay que tomar precaución al momento de conectar la entrada y salida trifásicas, puesto que se maneja voltajes altos. Para evitar un posible contacto con la bornera principal de entrada, salida y neutro se tienen tapas plásticas de protección que permiten hacer mediciones de voltaje y corriente.
- La pantalla del LCD es sensible por lo que se debe tener cuidado con esta parte accesible del prototipo. Los botones pulsadores requieren una ligera presión.

Para la comunicación con el PC, el RESM cuenta con un cable adicional que permite esta función.

- Es recomendable aislar el computador del prototipo con una interfase de comunicación aislada puesto que el MAX232 no tiene esta característica, para proteger al computador en caso de que el circuito de potencia falle o evitar posibles cortocircuitos en instalaciones en las que las referencias sean las mismas.
- Se recomienda continuar con el desarrollo del prototipo, e integrar otras acciones de control y alternativas, para conseguir un sistema de protección que detecte no solo anomalías en el voltaje sino también en la corriente.
- Cabe recalcar que el prototipo RESM analiza únicamente los voltajes de entrada o alimentación, permitiendo la conexión de los interruptores si tales voltajes son adecuados para la carga. Puesto que no proporciona protección ante variaciones en la corriente, se recomienda incrementar esta opción en el prototipo mediante toroides en las líneas para obtener señales que ingresen al PIC, añadiendo en el programa el análisis de las corrientes y detectar de esta forma cualquier tipo de falla en este parámetro. Por lo tanto, a más de la protección que proporciona el RESM en lo que respecta a voltajes, se debe incorporar las protecciones necesarias contra sobrecorrientes.
- Los proyectos teóricos realizados proponen innumerables concepciones útiles y adaptables; sin embargo, los proyectos que conllevan parte teórica y práctica permiten resolver los problemas reales que se generan sobre todo en la industria, contribuyendo y beneficiando de manera directa a la continuidad, calidad y optimización de procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Rashid Muhammad H.; *"Electrónica de Potencia"*. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. 1993.
- ✓ Motto John William; *"Introduction to Solid State POWER ELECTRONICS"*. Westinghouse Electric Corporation Semiconductor Division.
- ✓ Boylestad, Nashelsky; *"Electrónica Teoría de Circuitos"*. Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- ✓ Muller W. (y otros); *"Electrotecnia de potencia – curso superior"*. Reverté S.A. España. 1984
- ✓ Angulo J. Angulo I; *"MICROCONTROLADORES <<PIC>>. DISEÑO PRÁCTICO Y APLICACIONES"*. McGraw-Hill. España. 1997
- ✓ *"PIC 16F87X, Data Sheet"*. MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. USA. 2001.
- ✓ Rockis G, Mazur G; *"Electrical Motor Controls"*. American Technical Publishers. 1982.
- ✓ *"El Contactor y sus aplicaciones"*. Departamento Técnico-Comercial de AGUT, S.A. 1975.
- ✓ Roldán J.; *"Motores Eléctricos Aplicación Industrial"*. Paraninfo. 1992.
- ✓ *"AEG Manual para instalaciones eléctricas de alumbrado y fuerza motriz"*. Allegemeine Elektricitats – Gesellschaft. Alemania. 1956.

- ✓ Harper Enríquez; *"Protección de instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales"*. Limusa. México. 2003.
- ✓ Harper Enríquez; *"Fundamentos de Protección de Sistemas Eléctricos por Relevadores"*. Limusa. México. 1992.

Direcciones en Internet:

- ✓ www.microchip.com
- ✓ <http://library.abb.com>
- ✓ <http://www.hemar.ch/Tech.Daten/Teccor/SCR.pdf>
- ✓ www.dicopel.com.mx/secc1.pdf
- ✓ www.lafacu.com
- ✓ www.monografiass.com

ANEXOS

ANEXO A

IMAGENES DEL EQUIPO

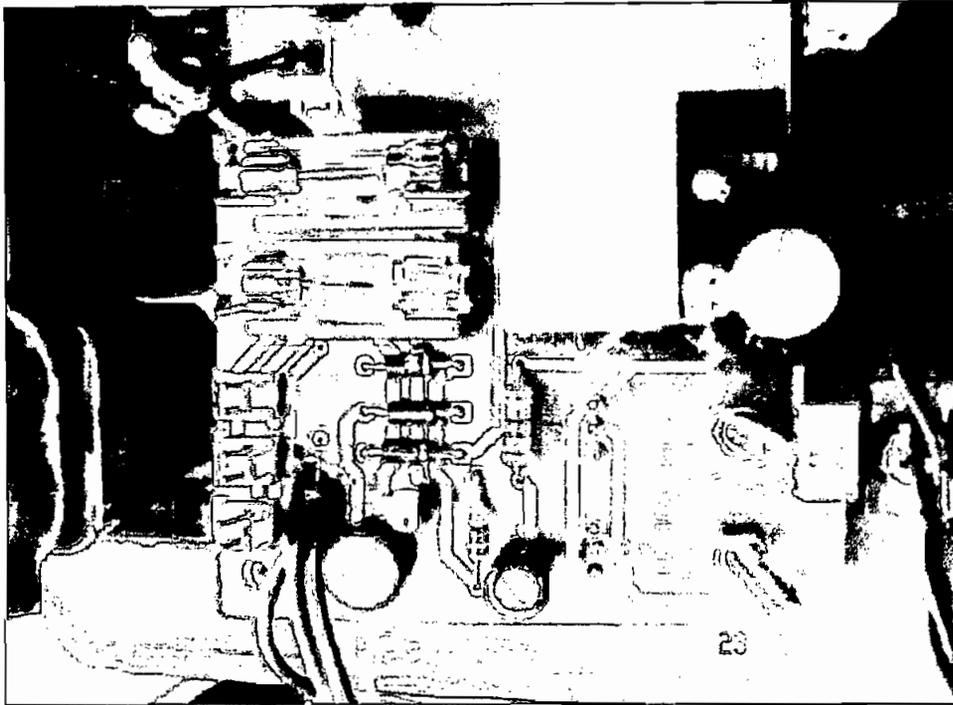


Imagen A.1 Tarjeta Fuentes de Polarización

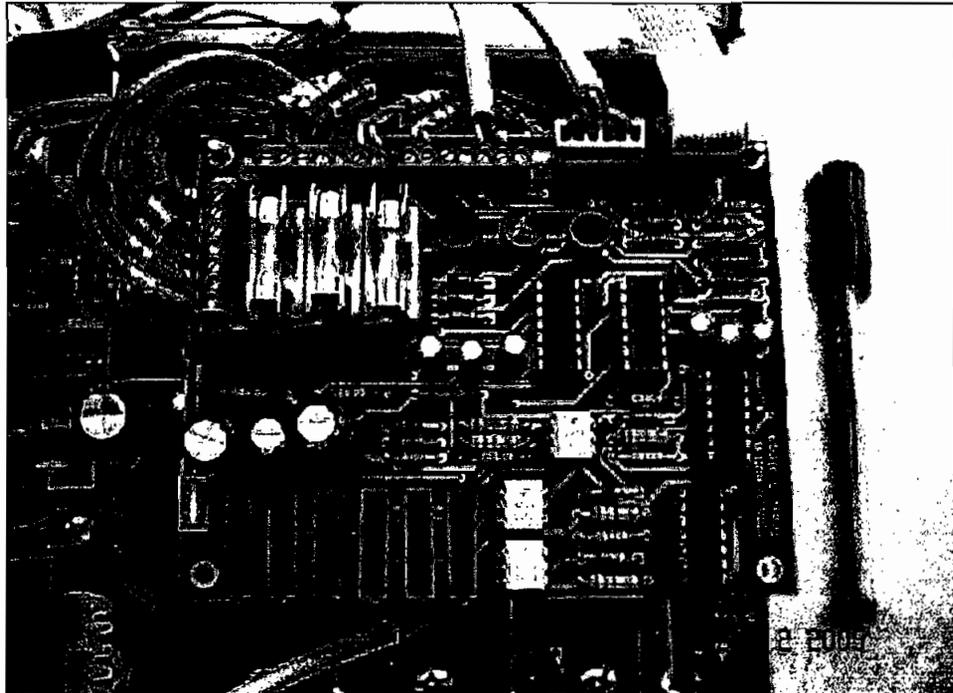


Imagen A.2 Tarjeta Acondicionamientos

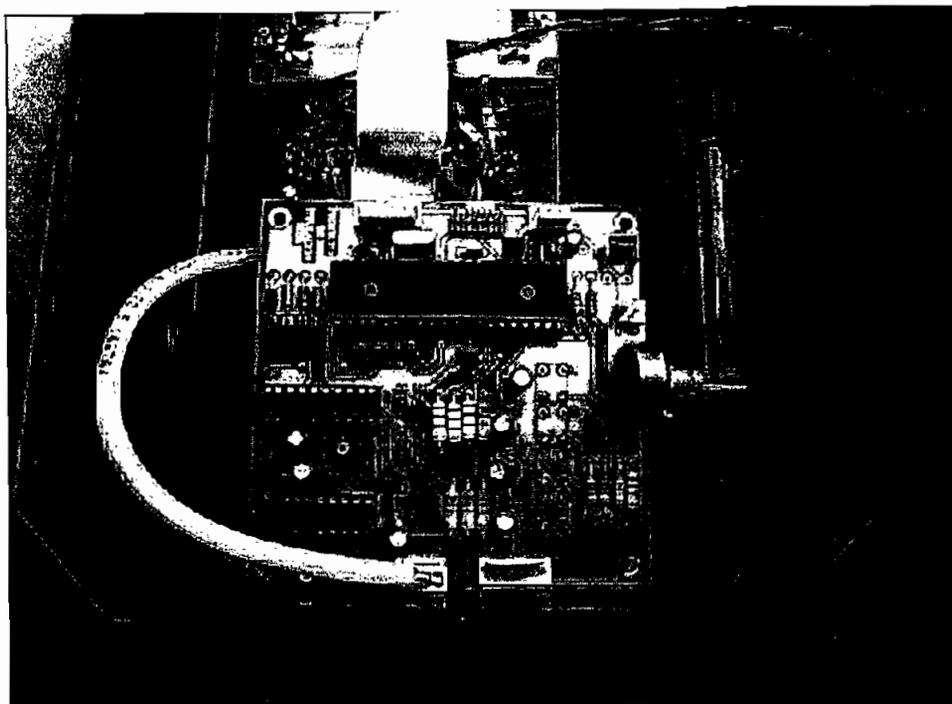


Imagen A.3 Tarjeta Control

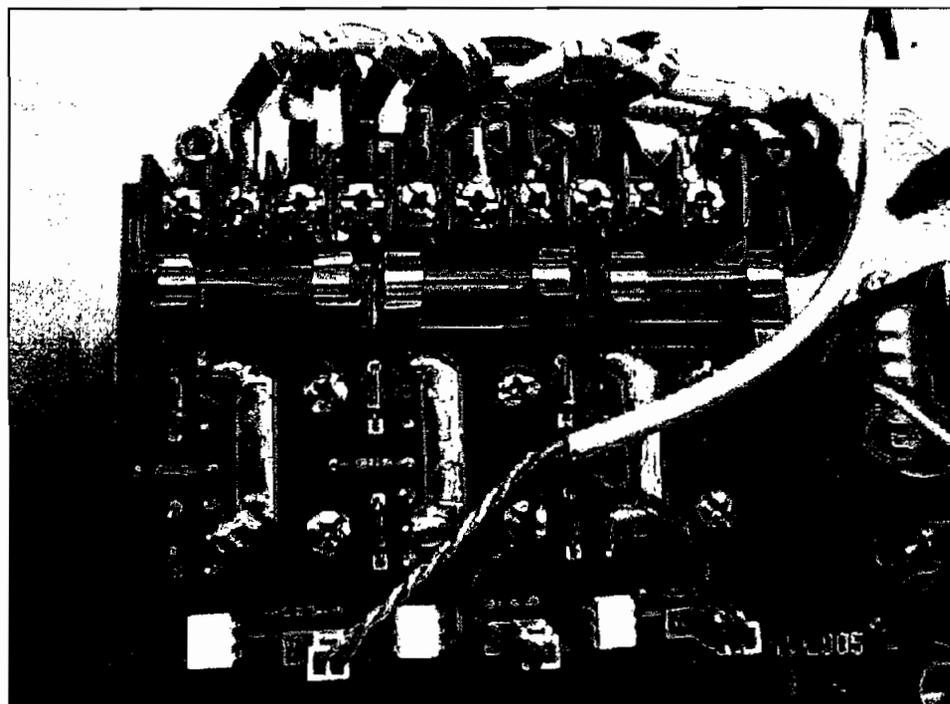


Imagen A.4 Tarjeta Potencia

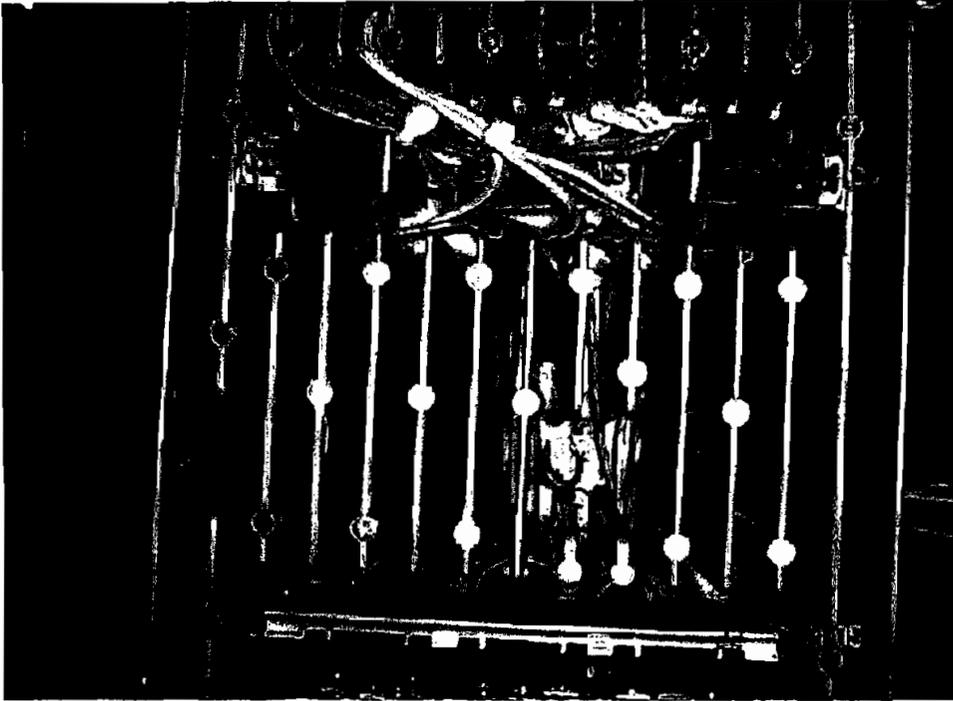


Imagen A.5 Ubicación de transformadores en el interior del disipador

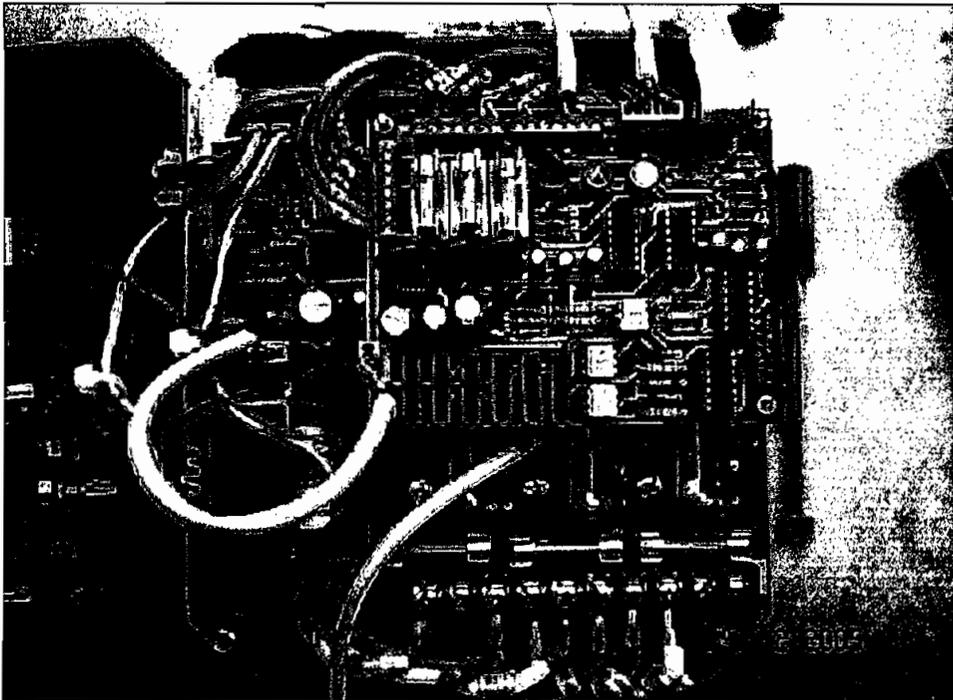


Imagen A.6 Ubicación de tarjetas en el disipador

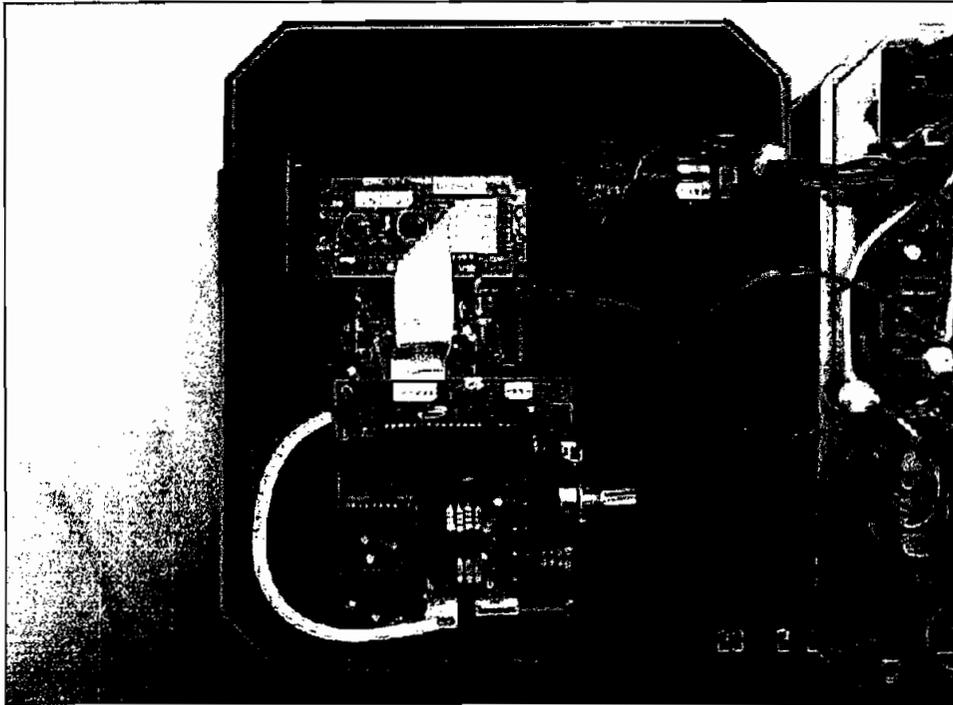


Imagen A.7 Ubicación de tarjetas en la tapa

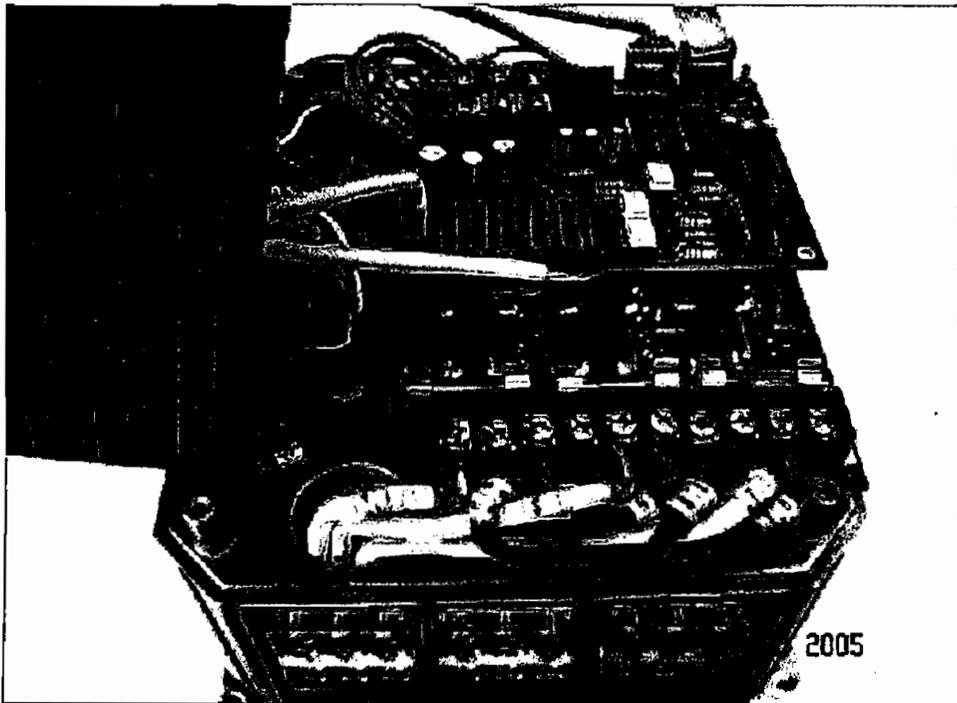


Imagen A.8 Interconexión de tarjetas. Vista frontal

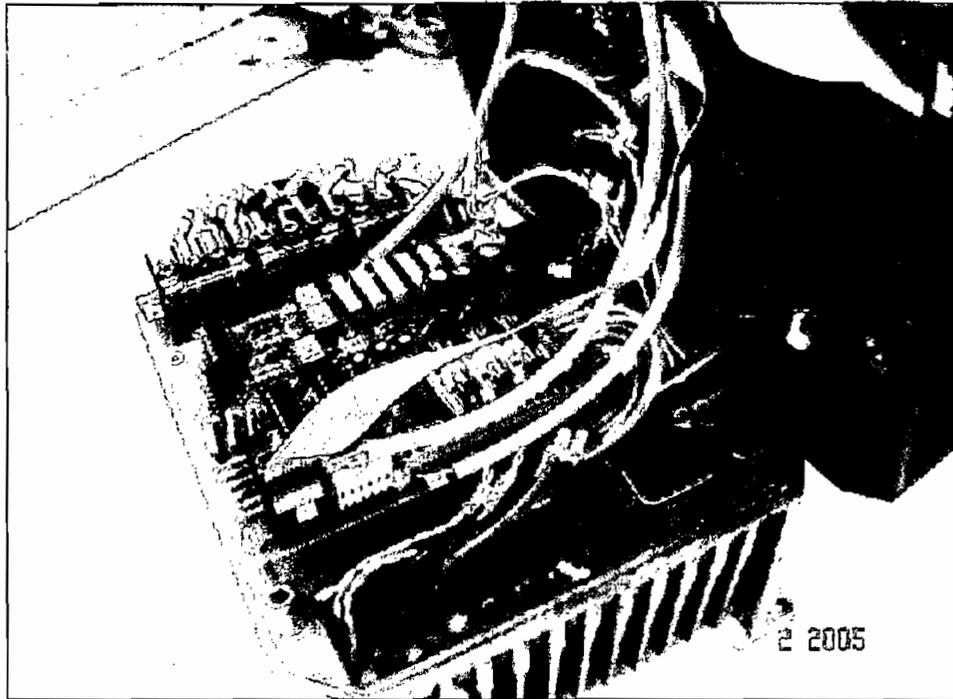


Imagen A.9 Interconexión de tarjetas. Vista posterior

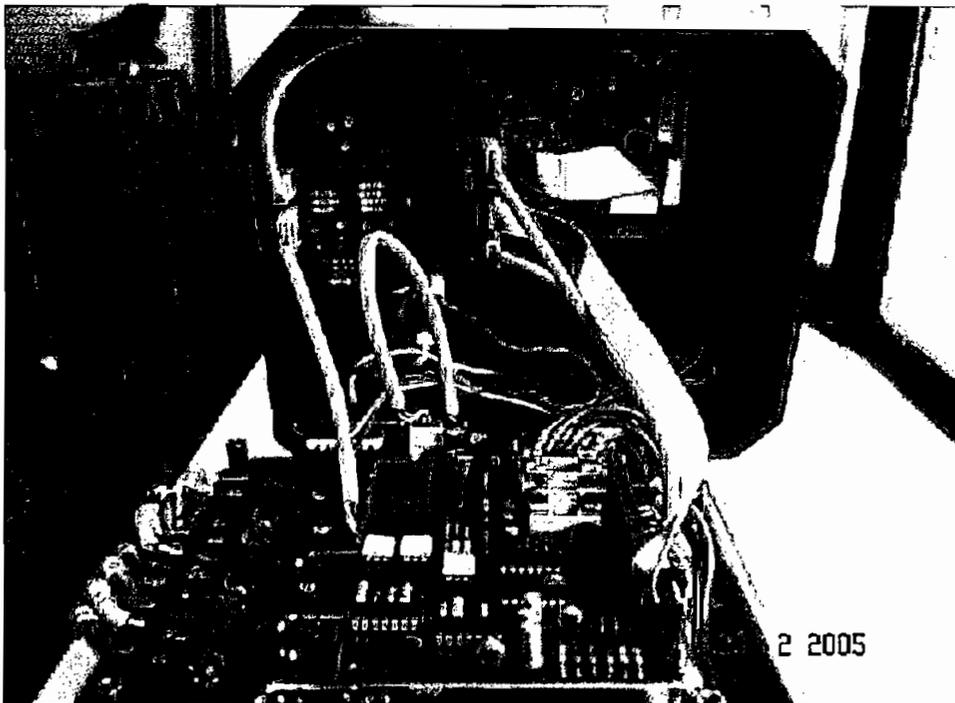


Imagen A.10 Interconexión de tarjetas. Vista lateral



Imagen A.11 Vista general del equipo

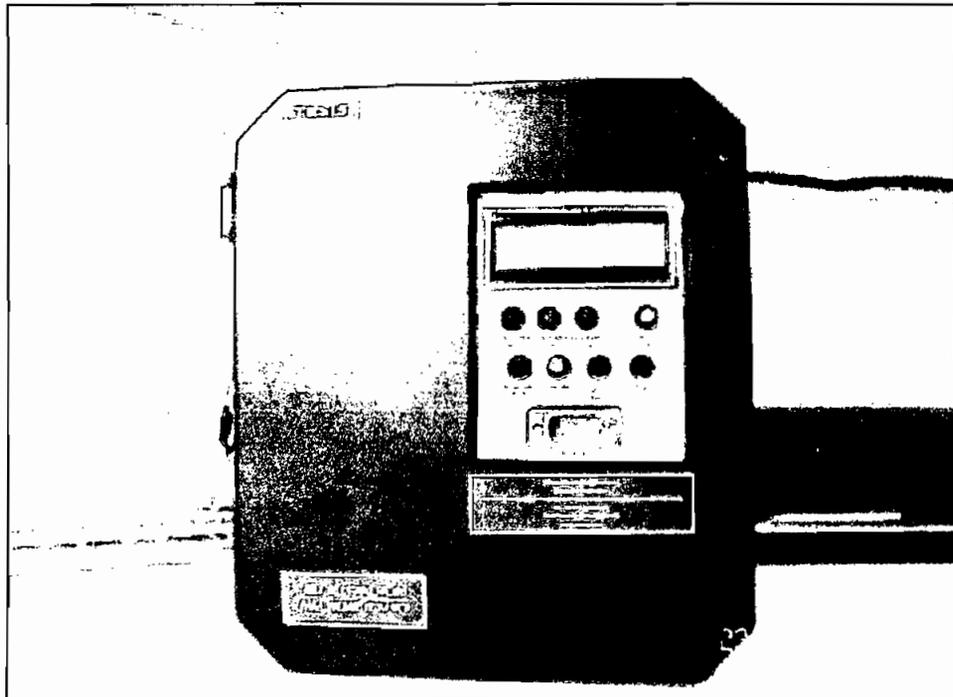


Imagen A.12 Vista frontal del equipo

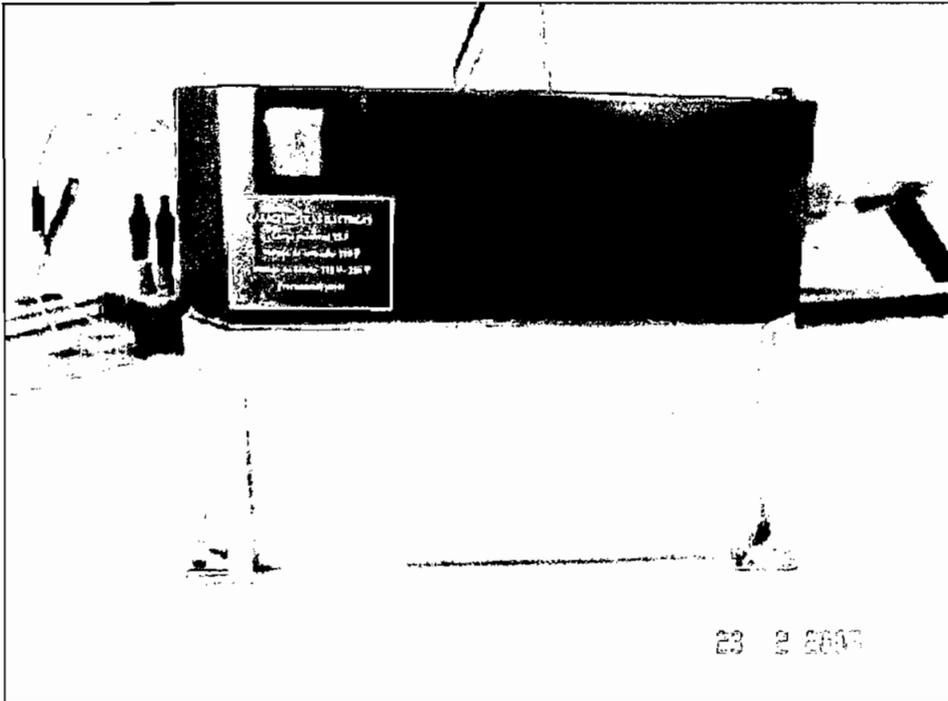


Imagen A.13 Vista lateral

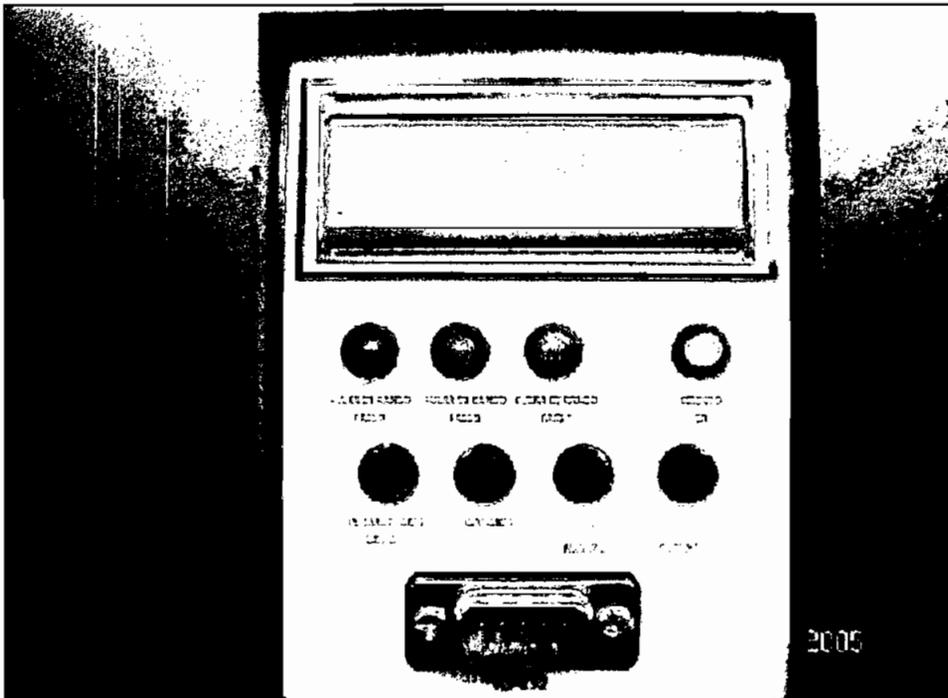


Imagen A.14 Interfaz con el usuario

ANEXO B

MANUAL DE OPERACIÓN

INTRODUCCIÓN

Con el propósito de proveer de un sistema de protección basado en el principio de operación de un relé, se ha desarrollado una herramienta de hardware y software móvil, diseñado para la protección contra fallas de la red de alimentación trifásica; esta unidad de servicio ubicada entre la fuente y la carga analiza constantemente el voltaje de entrada para dar paso a la conexión del receptor si dicho voltaje es el nominal.

El dispositivo denominado prototipo de Relé de Estado Sólido Microcontrolado RESM realiza las operaciones necesarias para establecer el rango de voltaje dentro del cual los interruptores se mantienen cerrados, permite al usuario establecer este rango y el modo de reconexión de la carga mediante la interfase que forma parte del prototipo conformada por un display de cristal líquido LCD, botones pulsadores, leds y un conector DB9.

Una solución adicional proporcionada al usuario es el manejo del prototipo a través de un computador personal al instalar un software de aplicación diseñado en Visual Basic para transmitir y recibir datos del RESM.

Para una adecuada utilización del RESM se describe el manual de usuario conjuntamente con una guía de mantenimiento preventivo y correctivo.

MANUAL DE USUARIO

El RESM consta de borneras de entrada y salida en las que debe conectarse la red trifásica con neutro para su análisis y la carga monofásica o trifásica en delta o estrella con o sin neutro para alimentarla, respectivamente.

Las borneras están identificadas con las letras R, S, T para la entrada y U, V, W para las salidas; el neutro N ingresa en la parte central de la bornera principal.

El prototipo debe ser utilizado para manejar una carga máxima de 15 A en estado estable. El voltaje de entrada al prototipo debe adaptarse al nominal que requiera la carga a ser protegida.

La interfase accesible al usuario consta de una pantalla visualizadora de caracteres LCD, cuatro leds indicadores, cuatro pulsantes y un conector DB9, además de un interruptor de encendido ubicado en el extremo lateral izquierdo del prototipo.

Una vez identificado cada uno de estos elementos, los mismos tienen funciones específicas; entre ellas:

Display de cristal líquido LCD

Pantalla para visualizar los mensajes de presentación del prototipo, fallas de red como es una falta de fase y un sobrevoltaje, carga on, carga off, variables y valores con sus respectivas magnitudes.

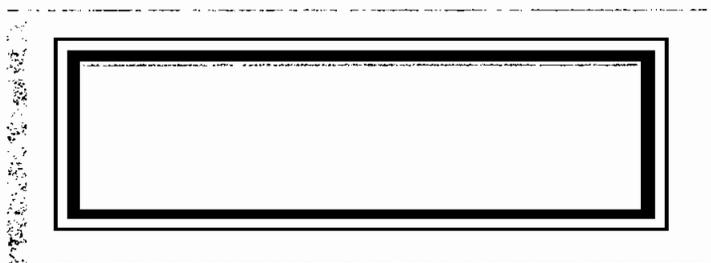


Figura B.1 Pantalla de cristal líquido LCD de la interfase de usuario

Leds indicadores

Los leds rojos se encienden cuando se ha producido un fuera de rango y el led amarillo permanece encendido mientras el prototipo se encuentra energizado y funcionando mediante el voltaje alterno de la red de alimentación o la batería.

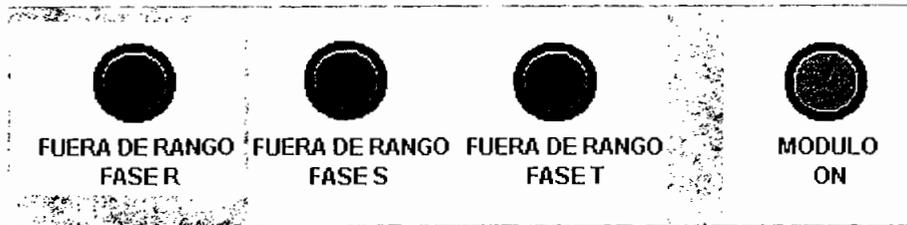


Figura B.2 Leds de la interfase de usuario

Botones pulsadores

1. **ON/OFF.** Para la conexión y desconexión manual de los interruptores de potencia.
2. **OPCIONES.** Para seleccionar la opción a visualizar en el LCD entre las cuales están: los voltajes por cada fase en voltios (V), la referencia o set point de voltaje en voltios (V), la referencia o set point de tolerancia en porcentaje (%), el rango de control en voltios (V), el porcentaje de memoria (%) y el modo de reconexión manual o automática.
3. **INC/MANUAL.** Si las opciones son los set point's de voltaje o tolerancia, este botón incrementa los valores de voltaje y tolerancia para establecer el rango de control. Si la opción es el modo de reconexión, este pulsante asigna una reconexión manual para cerrar los interruptores mediante el pulsante ON/OFF si la red tiene un voltaje que esté dentro del rango.
4. **DEC/AUTOMATICO.** Si las opciones son los set point's de voltaje o tolerancia, este botón decrementa los valores de voltaje y tolerancia para establecer el rango de

control. Si la opción es el modo de reconexión, este pulsante asigna una reconexión automática para que los interruptores se cierren al tener un voltaje adecuado si antes de una apertura instantánea se encontraban en esta condición.

Tanto el voltaje como la tolerancia tienen valores límites establecidos en 104 V a 147 V y 5, 10, 15 o 20 %, respectivamente.

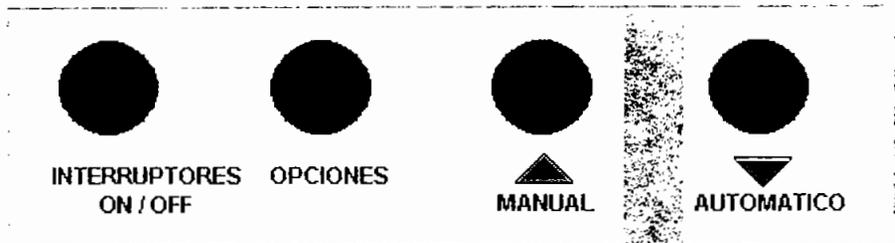


Figura B.3 Botones pulsadores de la interfase de usuario

5. **CONECTOR DB9.** Permite la comunicación con el computador de forma serial, para ello es necesario el cable que lleva los conectores DB9 que es un accesorio adicional al prototipo.

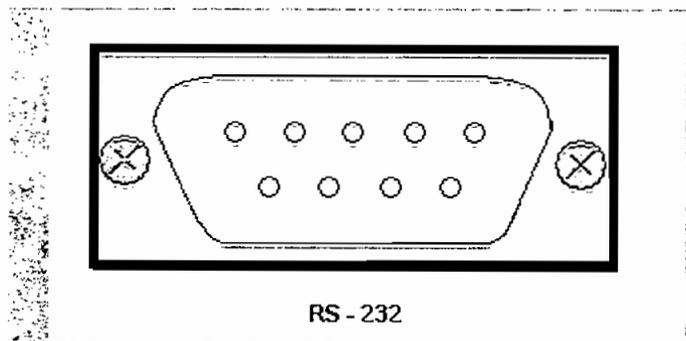


Figura B.4 Conector DB9 de la interfase de usuario

6. **BOTON DE ENCENDIDO GENERAL.** Para proveer de energía al equipo mediante la tensión alterna de entrada o la batería de respaldo y dar paso al funcionamiento y control del prototipo.

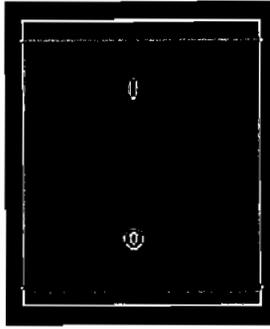


Figura B.5 Interruptor general de encendido o apagado del equipo

7. **BORNERAS DE ENTRADA, SALIDA Y NEUTRO.** La bornera de entrada (izquierda) está asignada a la conexión de la red trifásica con neutro, a fin de que el prototipo realice el análisis y control sobre estos voltajes. La bornera central corresponde al neutro. La bornera de salida (derecha) para las cargas a alimentar, si el voltaje es el nominal. Cada bornera cuenta con una tapa trasparente como protección.

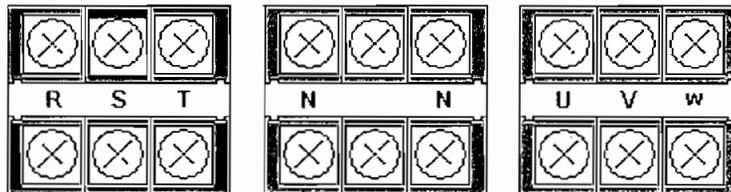


Figura B.6 Bornera de entrada, neutro y salida

Software de Aplicación

El RESM puede interactuar con un computador al estar interconectados con un cable de comunicación serial RS232, a través de un software de aplicación elaborado en Visual Basic que presenta pantallas de fácil manejo por parte del usuario y se describe a continuación.

- Se ejecuta la aplicación a través del acceso directo en el escritorio del PC.



Figura B.7 Acceso directo a la aplicación en PC

- La aplicación continua si la contraseña es correcta.

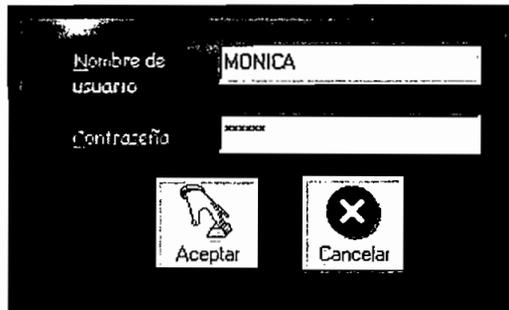


Figura B.8 Clave de acceso

- Presentación que dura 8 segundos después de ingresar la clave de acceso.



Figura B.9 Presentación

- Menú Principal, contiene tres menús que se pueden desplegar: Archivo, Edición y Ver. En el menú Archivo se puede finalizar la aplicación.



Figura B.10 Menú Principal

- Datos por Recibir del menú Edición, recopila las variables que detecta y a las cuales controla el RESM

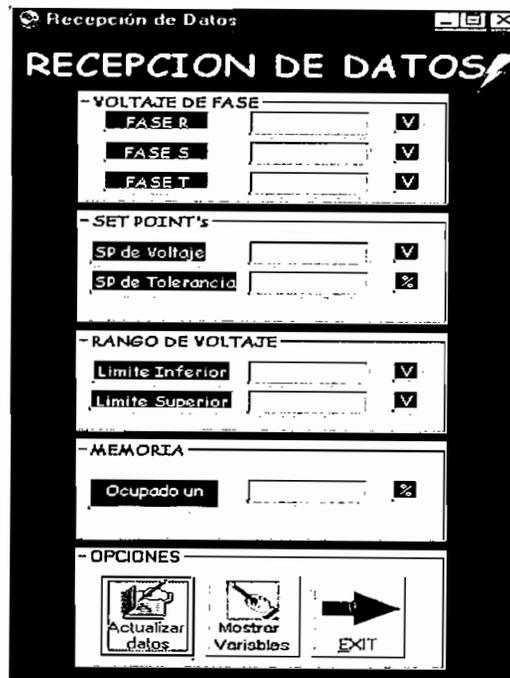


Figura B.11 DATOS POR RECIBIR

- Datos por Enviar del menú Edición, permite establecer el rango de control y el modo de reconexión para el RESM. Se actualiza en forma permanente la reconexión mediante los leds indicadores.

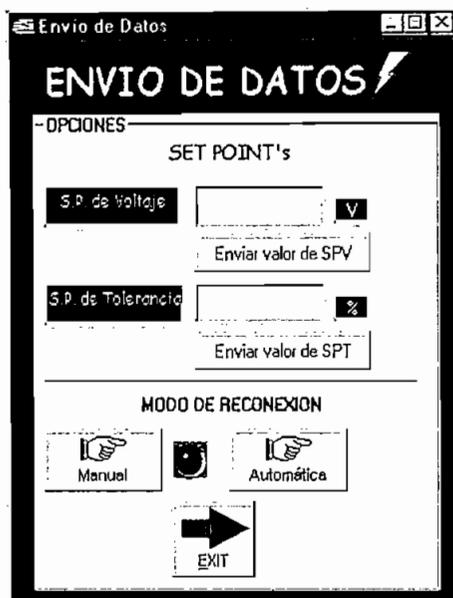


Figura B.12 DATOS POR ENVIAR

- Interruptores Estáticos del menú Edición, para la conexión o desconexión de los interruptores, cuyo estado se actualiza de forma continua.



Figura B.13 INTERRUPTORES ESTÁTICOS

- Base de Datos del menú Edición, para registrar en Excel las fallas almacenadas en el RESM.



Figura B.14 BASE DE DATOS

- Soporte Teórico y Software de Aplicación del menú Ver, como información general del RESM y la aplicación en PC.



Figura B.15 SOPORTE TEÓRICO

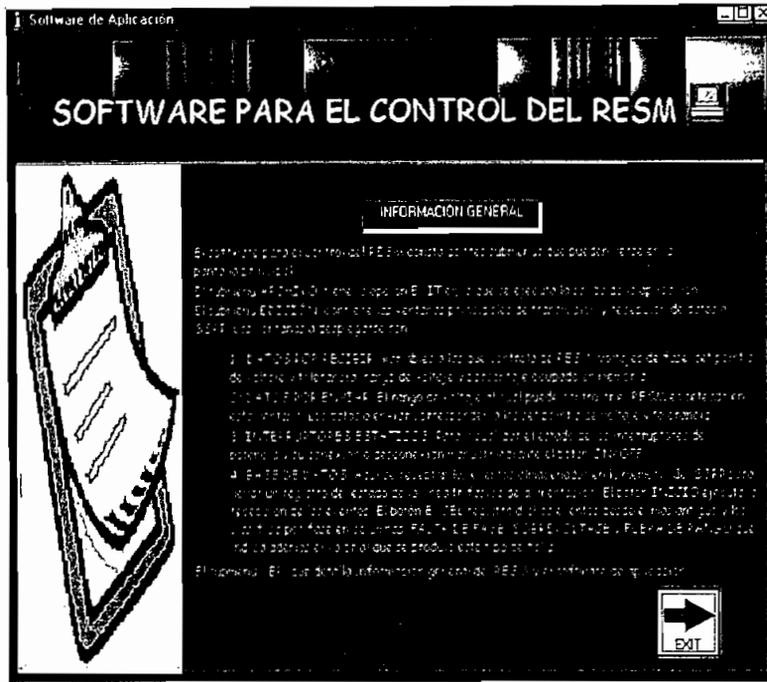


Figura B.16 SOFTWARE DE APLICACIÓN

- Se pueden visualizar pantallas adicionales que se muestran conforme a eventos aleatorios como es un error en las referencias de voltaje o tolerancia, descarga completa de datos que llegan al computador, etc. que se indican a continuación:

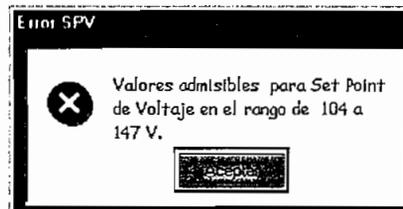


Figura B.17 ERROR DATO SPV (error en datos de referencia o set point de voltaje)

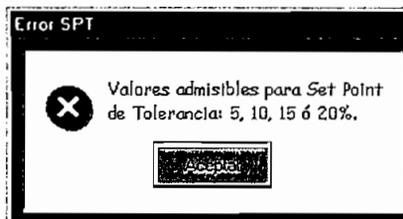


Figura B.18 ERROR DATO SPT (error en el dato de referencia o set point de tolerancia)

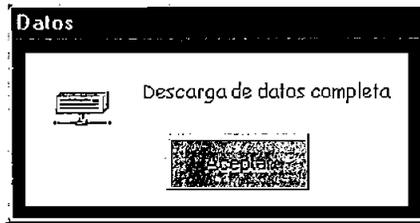


Figura B.19 DESCARGA COMPLETA



Figura B.20 NO HAY DATOS POR DESCARGAR

GUÍA DE MANTENIMIENTO

El RESM puede ser manipulado por el usuario a través de la interfase descrita en el manual; sin embargo al ser un equipo electrónico requiere de un mantenimiento preventivo para evitar posibles fallas y un mantenimiento correctivo en caso de que no funcione adecuadamente.

Mantenimiento Preventivo

El hardware con el que funciona el RESM está confinado en una caja cuya base es un disipador que impide el calentamiento de los reguladores de voltaje y de los interruptores de estado sólido durante el control, la tapa es de plástico muy resistente que se sujeta al disipador con tornillos y en la que se encuentra la interfase de usuario.

Esta interfase contiene el display de cristal líquido LCD, los leds indicadores, los botones pulsadores y el conector DB9 para la comunicación con el computador; de todos estos elementos, el LCD requiere un especial cuidado puesto que el recubrimiento del mismo es sensible y los botones pulsadores deben ser manipulados con una ligera presión.

En la parte interna al abrir la tapa hacia la izquierda, queda sujeta por los terminales y conectores que llevan las señales entre las tarjetas electrónicas. Se pueden encontrar cables adicionales que llegan y salen de diferentes puntos y que cumplen con finalidades específicas.

Cada cable, conector y terminal es identificado por un código (número o letra) para evitar errores al momento de realizar el mantenimiento en el que posiblemente sea necesario desconectar las tarjetas entre sí para su evaluación pertinente. Esta codificación se indica en la tabla B.1 a continuación.

IDENTIFICACIÓN DE BORNERAS Y CABLES

IDENTIFICACIÓN	SIGNIFICADO
BI	Bornera principal de entrada
BO	Bornera principal de salida
BN	Bornera para el neutro
BS	Bornera secundaria, ubicada en la tarjeta de potencia
A	Bornera A, ubicada en la tarjeta de acondicionamiento
B	Bornera B, ubicada en la tarjeta de acondicionamiento
C	Bornera C, ubicada en la tarjeta de acondicionamiento
R	Fase R, para la bornera principal de entrada y bornera A
S	Fase S, para la bornera principal de entrada y bornera A
T	Fase T, para la bornera principal de entrada y bornera A
N	Neutro, para la bornera principal y la bornera A
U	Fase R, para la bornera principal de salida
V	Fase S, para la bornera principal de salida
W	Fase T, para la bornera principal de salida
RI	R INPUT, fase R de entrada para bornera secundaria
RO	R OUTPUT, fase R de salida para bornera secundaria
SI	S INPUT, fase S de entrada para bornera secundaria
SO	S OUTPUT, fase S de salida para bornera secundaria
TI	T INPUT, fase T de entrada para bornera secundaria
TO	T OUTPUT, fase T de salida para bornera secundaria
X	Conector y terminal para la señal de activado del interruptor de la fase R
Y	Conector y terminal para la señal de activado del interruptor de la fase S

continúa...

...viene

Z	Conector y terminal para la señal de activado del interruptor de la fase T
RP	Primario Transformador Fase R, para la bornera A (entrada 110 V)
RN	Neutro Transformador Fase R, para la bornera A
SP	Primario Transformador Fase S, para la bornera A (entrada 110 V)
SN	Neutro Transformador Fase S, para la bornera B
TP	Primario Transformador Fase T, para la bornera B (entrada 110 V)
TN	Neutro Transformador Fase T, para la bornera B
RS	Secundario Transformador Fase R, para la bornera B
SS	Secundario Transformador Fase S, para la bornera B
TS	Secundario Transformador Fase T, para la bornera C
Terminal 1	De cuatro pines, ubicado en la tarjeta de control, para transmisión y recepción serial
Terminal 2	De seis y 3x2 pines, ubicado en las tarjetas de control y potencia, para las señales de activado de los SCR's.
Terminal 3	De cuatro pines, ubicado en la tarjeta de control y de acondicionamiento para las señales análogas de los voltajes de fase y tierra análoga
Terminal 4	De cinco pines, ubicado en la tarjeta de control y de acondicionamiento, para las señales de fallas críticas de red
Terminal 5	De 2x5 pines, ubicado en la tarjeta de control y de acondicionamiento, para las señales de fallas críticas de red. Este cable deber ser conectado de acuerdo a la orientación indicada con el símbolo (.) para la tarjeta de acondicionamiento y (/) para la tarjeta de control.

continúa...

...viene

Terminal 6	De dos y cuatro pines, ubicado en la tarjeta de control, acondicionamiento y fuentes, para las señales de polarización de +12 V y +5 V
Terminal 7	De dos pines, ubicado en la tarjeta de fuentes, proveniente de la fase R y que sirve de alimentación para el transformador de la dicha tarjeta
Terminal 8	De dos pines, ubicado en la tarjeta de fuentes, para el primario del transformador de dicha tarjeta
Terminal 9	De dos pines, ubicado en la tarjeta de fuentes, para el secundario del transformador de dicha tarjeta
Terminal 10	De dos pines, ubicado en la tarjeta de fuentes, para la conexión de la batería de respaldo.
Terminal 11	De cuatro conectores, ubicado en la tapa del prototipo para el interruptor que conecta de manera simultánea la alterna de 110 V o la batería para la tarjeta de fuentes.

Tabla B.1 Identificación y significado de borneras y cables

Son cuatro las tarjetas electrónicas que forman parte del RESM:

1. Tarjeta 1 o TARJETA FUENTES. Los elementos principales son los reguladores LM7812 y LM7805 con los que se obtienen los voltajes +12 V y +5 V.
2. Tarjeta 2 o TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO. De la que provienen las señales de voltaje de fase y fallas críticas acondicionadas a niveles adecuados para su correspondiente análisis.

3. Tarjeta 3 o TARJETA DE CONTROL. En la que se encuentra el microcontrolador PIC16F877 que realiza las operaciones necesarias sobre las señales acondicionadas para cumplir con el control especificado.

4. Tarjeta 4 o TARJETA DE POTENCIA. Contiene los interruptores de potencia y una bornera secundaria a la que llegan y salen los cables para los voltajes de entrada (red trifásica) y salida (carga).

Los tres transformadores de los que provienen los voltajes reducidos para el acondicionamiento están ubicados en un espacio accesible en el interior del disipador; el transformador y la batería de respaldo para la tarjeta de fuentes se encuentran sobre el disipador.

Dada la información de los componentes y su ubicación en el RESM, como mantenimiento preventivo, debe evitarse la acumulación de polvo en el interior, para ello puede usarse una aspiradora útil para eliminar este problema.

Todos los cables y conectores deben estar ajustados con respecto a sus terminales correspondientes. Los cables que interconectan la bornera principal y la secundaria deben tener una separación adecuada para evitar el contacto entre ellos y dar lugar a un cortocircuito. En la interfase de usuario, los leds deben estar bien sujetos con sus respectivos porta leds y los botones pulsadores adheridos con silicona a la tapa.

Mantenimiento Correctivo

Para el correcto funcionamiento del RESM es necesario asegurarse que existan los voltajes adecuados en cada uno de los terminales y en las borneras: principal de entrada, secundaria, A, B y C.

Cabe señalar la importancia de verificar las protecciones incorporadas en la tarjeta de potencia y de acondicionamiento. Entre las protecciones se tienen fusibles de 30A para cada interruptor, fusibles de 0.5A tanto para la alimentación de la tarjeta de fuentes en la entrada alterna y el respaldo de batería como para las entradas a ser

acondicionadas en la tarjeta de acondicionamiento; varistores de voltaje de ruptura 270V, valor al que recorta este elemento en caso de presentarse un pico, ubicados también en el acondicionamiento. En la revisión general del RESM se deben considerar los siguientes pasos:

1. La tarjeta de fuentes de polarización es alimentada mediante la fase R o la batería. Ambas formas permiten que los reguladores LM7812 y LM7805 de 12V_{DC} y 5V_{DC}, respectivamente, se energicen y entreguen estos voltajes mediante el terminal 6 para polarizar las demás tarjetas.

Es necesario verificar la existencia de estos voltajes para que el prototipo realice el control.

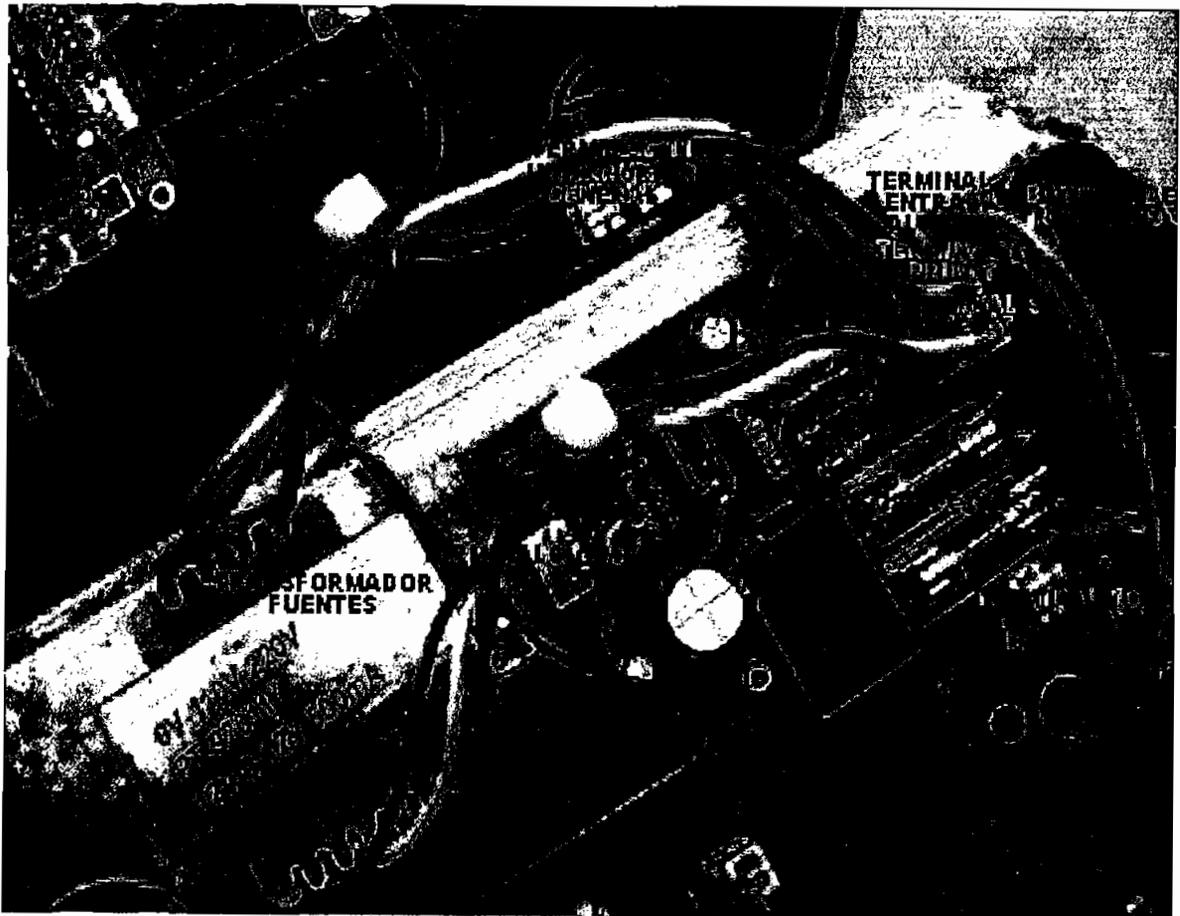


Figura B.21 Tarjeta Fuentes de Polarización

2. Los voltajes de las tres fases pueden ser medidos en la bornera principal de entrada y en el terminal A de la tarjeta de acondicionamiento. Si las fases no existe en estos puntos y se conecta el módulo mediante el interruptor general, entra a funcionar la batería de respaldo y el RESM realiza el control adecuado indicando en que fase no hay voltaje mediante los leds indicadores de la interfase durante el tiempo que la batería pueda alimentar a la tarjeta de fuentes.
3. Si las tres fases son las nominales, el prototipo se energiza mediante la fase R. Para una entrada de $120V_{RMS}$, los voltajes de los secundarios de los transformadores deben medirse como $13V_{RMS}$ en las borneras B y C. De acuerdo al acondicionamiento los $120V_{RMS}$ que se lean por fase debe corresponder a un nivel acondicionado de $3V_{DC}$ en los pines 1 (ANR), 7 (ANS) y 8 (ANT) del operacional LM324 ubicado en el zócalo U1 de la Tarjeta de Acondicionamiento; para calibrar a este valor se cuenta con 3 potenciómetros de precisión para cada una de las fases de $1K\Omega$ (102). Los tres niveles de $3V_{DC}$ ingresan a los pines 2 (RA0-ANR), 3 (RA1-ANS) y 5 (RA3-ANT) del microcontrolador PIC16F877. El terminal 3 lleva estas señales.
4. Para la detección de sobrevoltajes o picos es necesaria la comparación de las salidas de los rectificadores reducidas a la mitad mediante divisores de voltaje y los valores calibrados con los potenciómetros de precisión de $10K\Omega$ (103) a $10.9V_{DC}$ que corresponden a $150V_{RMS}$ en la entrada trifásica, a través del operacional LM324 del zócalo U2. Por lo tanto, si el voltaje crece por sobre este valor, se detecta este tipo de falla dando un 1L o 5 V en los pines 1 (SPR), 7 (SPS) y 8 (SPT) del operacional en el zócalo U2 y en el pin 33 (RBO-INT) del microcontrolador. Estos niveles también deben medirse en los pines 15 (RC0-SPR), 16 (RC1-SPS) y / o 17 (RC2-SPT) para indicar en que fase se ha producido esta falla.
5. Para la detección de la falta de fase, los voltajes rectificadas ingresan a los opto-transistores para obtener cruces por cero, los mismos que son filtrados para mantener el nivel alto durante el cero de estos pulsos. Si los tres voltajes existen, el pin 6 de la compuerta AND 74LS08 es 1L o 5 V que se invierte a través de la

compuerta NOT 74LS14 en el pin 2 (FF). Si existe una falta de fase, el pin 2 de la compuerta inversora y el pin 33 (RB0-INT) del microcontrolador cambian a 1L. Los pines 18 (RC3-FFR), 23 (RC4-FFS) y / o 24 (RC5-FFT) de este último elemento mantienen un 0L durante la falla. Los terminales 4 y 5 llevan los datos de las fallas críticas.

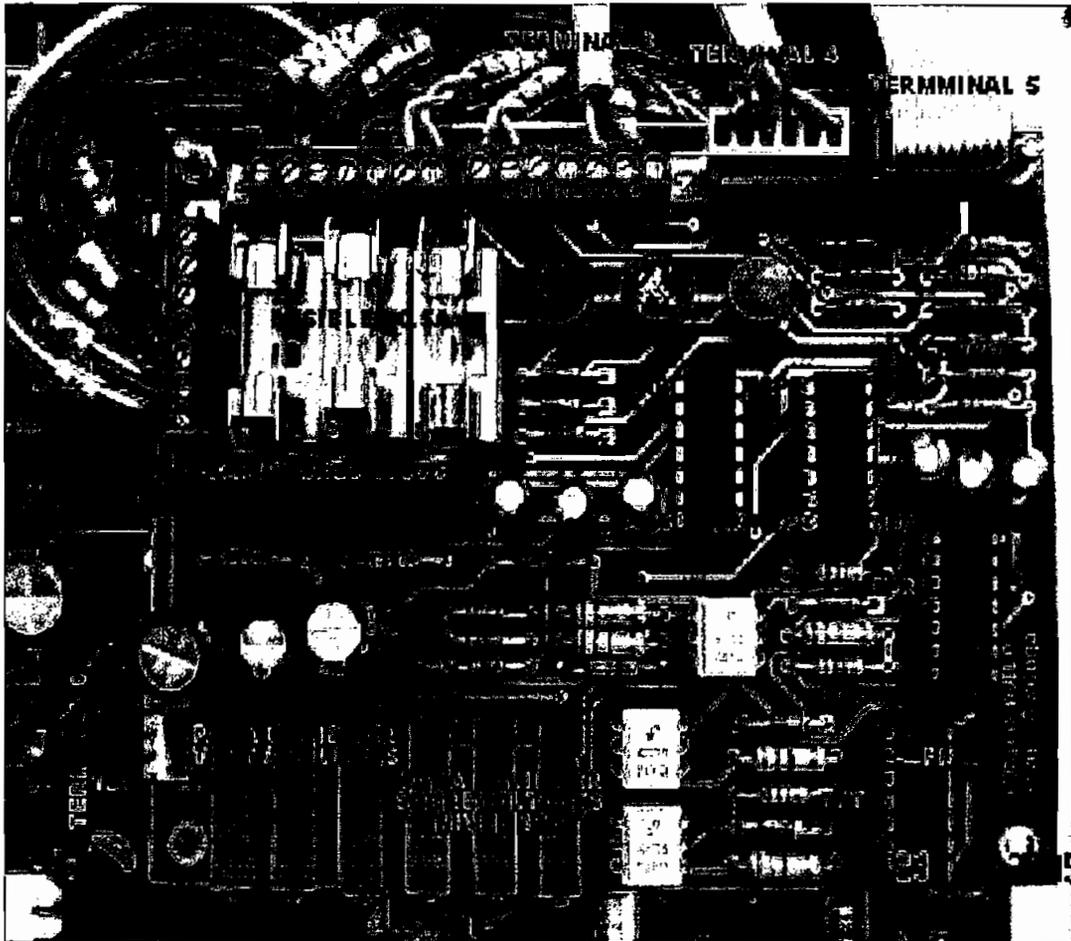


Figura B.22 Tarjeta Acondicionamientos

6. Los niveles análogos y digitales acondicionados e indicados en los numerales 3, 4 y 5 ingresan a los pines descritos del microcontrolador, el mismo que ejecuta el programa implementado para realizar las acciones de cierre y apertura de los interruptores de potencia, leer los pulsantes, controlar los leds indicadores, el LCD y

almacenar en la EEPROM que tiene incorporado, las fallas que se generen y descargarlas en el software de aplicación para llevar un registro.

7. Para la comunicación serial, los pines del microcontrolador por los que llega o sale información son el 25 (Tx) y 26 (Rx). Para adecuar estos valores en un computador se utiliza el integrado MAX232 el mismo que convierte los niveles TTL del microcontrolador en los valores estándar de ± 12 medidos en los pines 8 (R2IN-TX DB9) y 7 (T2OUT-RX DB9) que requiere el PC. El terminal 1 lleva los valores estándar al conector DB9 ubicado en la interfase.

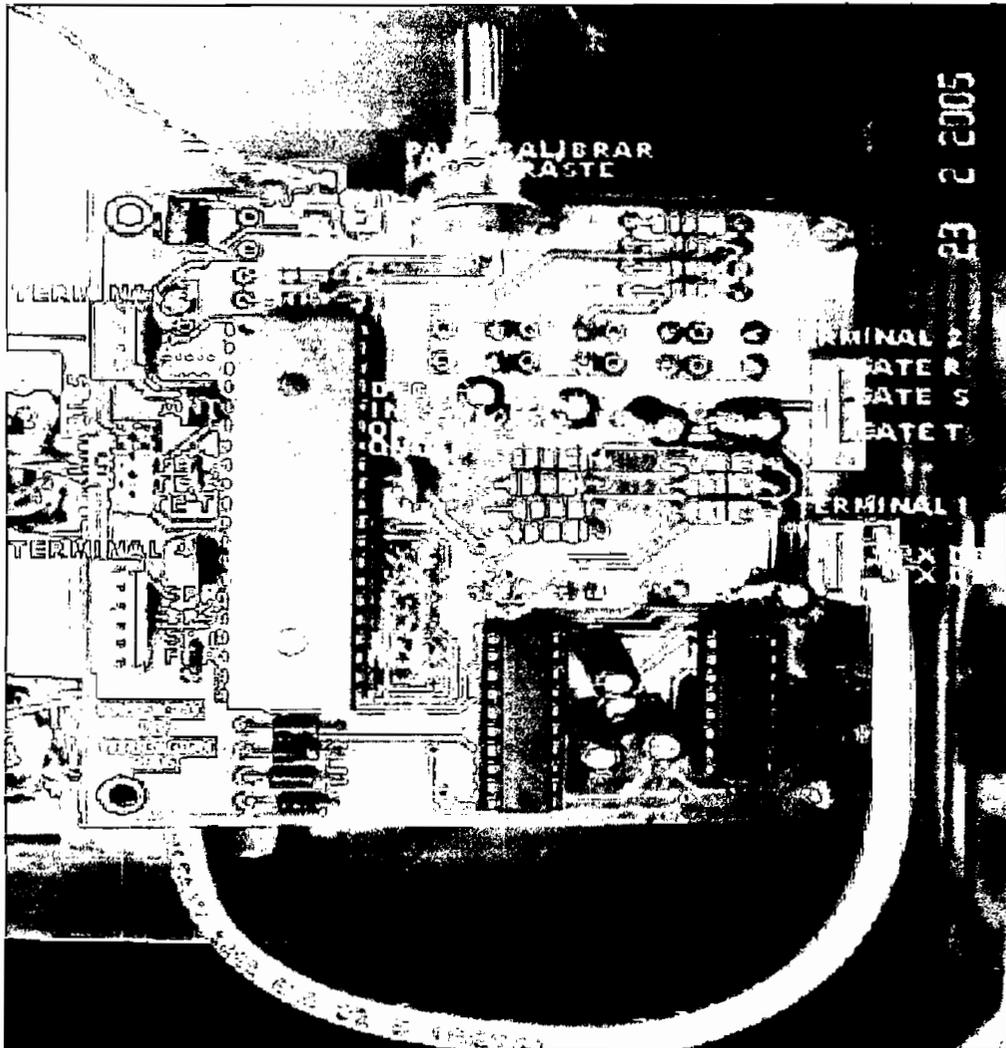


Figura B.23 Tarjeta Control

8. Los interruptores de potencia son activados al colocar un 1L en los pines (RE0-GATE R), 9 (RE1-GATE S) y 10 (RE2-GATE T) del microcontrolador, los mismos que llegan a los opto-triacs a través del retenedor o Latch 74LS373 y deben medirse en los terminales: 2 de la tarjeta de control, X, Y y Z de la tarjeta de potencia. Los opto-triacs son los encargados de transmitir estas señales a las compuertas de los SCR's en configuración inverso paralelo. El SCR que tenga polarización directa se activará. Si los interruptores se abren se coloca a 0L los pines del puerto E del microcontrolador. Si uno o todos los interruptores no se cierra a pesar de estar presente en sus compuertas las señales de activado, puede ser que algún SCR esté dañado por lo que debería ser reemplazado.

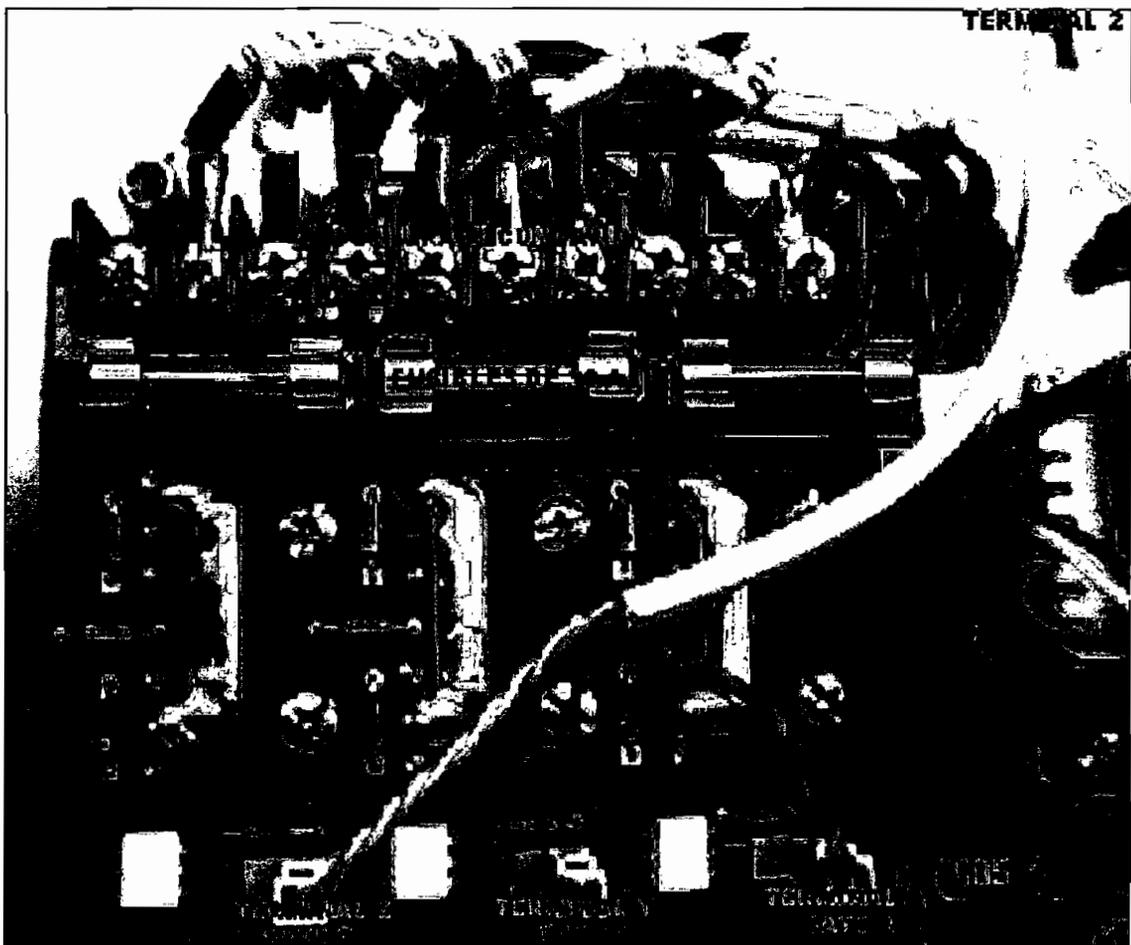


Figura B.24 Tarjeta Potencia

9. Puesto que la batería de respaldo no es recargable, es necesario verificar su estado después que haya actuado como alimentación de la tarjeta de fuentes. En caso de haberse descargado desde 18 V que es su valor nominal a 15 V deber ser reemplazado.

Si las fallas persisten, comunicarse con el diseñador para realizar una evaluación completa del equipo.

ANEXO C

HOJAS TÉCNICAS

ANEXO C.1

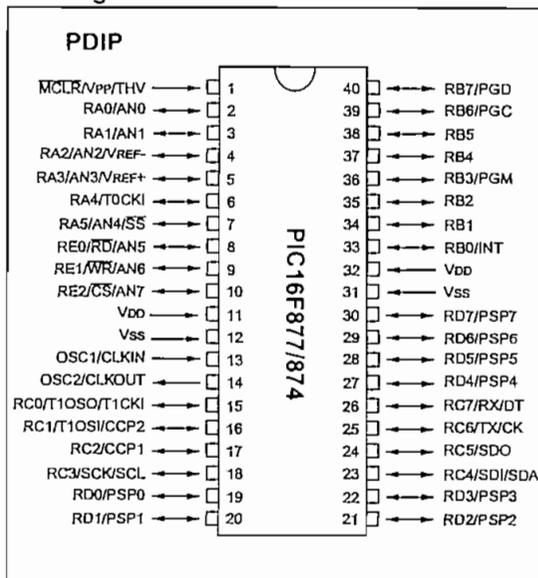
MICROCONTROLADOR PIC 16F87X

28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Microcontroller Core Features:

- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM data memory
- ★ **Pinout compatible to the PIC16C73/74/76/77**
- Interrupt capability (up to 14 internal/external interrupt sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect, and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low-power, high-speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- ★ In-Circuit Serial Programming™ via two pins
- ★ Only single 5V source needed for programming
- ★ In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
- Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns, Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns, PWM max. resolution is 10-bit
- ★ 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- ★ Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master Mode) and I²C™ (Master/Slave)
- ★ Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external \overline{RD} , \overline{WR} and \overline{CS} controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz			
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions

TABLE 13-2 PIC16CXXX INSTRUCTION SET

Mnemonic, Operands	Description	Cycles	14-Bit Opcode				Status Affected	Notes	
			MSb		LSb				
BYTE-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS									
ADDWF	f, d	Add W and f	1	00	0111	dfff	ffff	C,DC,Z	1,2
ANDWF	f, d	AND W with f	1	00	0101	dfff	ffff	Z	1,2
CLRF	-	Clear f	1	00	0001	1fff	ffff	Z	2
CLRWF	-	Clear W	1	00	0001	0xxx	xxxx	Z	
COMF	f, d	Complement f	1	00	1001	dfff	ffff	Z	1,2
DECf	f, d	Decrement f	1	00	0011	dfff	ffff	Z	1,2
DECFSZ	f, d	Decrement f, Skip if 0	1(2)	00	1011	dfff	ffff		1,2,3
INCF	f, d	Increment f	1	00	1010	dfff	ffff	Z	1,2
INCFSZ	f, d	Increment f, Skip if 0	1(2)	00	1111	dfff	ffff		1,2,3
IORWF	f, d	Inclusive OR W with f	1	00	0100	dfff	ffff	Z	1,2
MOVF	f, d	Move f	1	00	1000	dfff	ffff	Z	1,2
MOVWF	f	Move W to f	1	00	0000	1fff	ffff		
NOP	-	No Operation	1	00	0000	0xx0	0000		
RLF	f, d	Rotate Left f through Carry	1	00	1101	dfff	ffff	C	1,2
RRF	f, d	Rotate Right f through Carry	1	00	1100	dfff	ffff	C	1,2
SUBWF	f, d	Subtract W from f	1	00	0010	dfff	ffff	C,DC,Z	1,2
SWAPF	f, d	Swap nibbles in f	1	00	1110	dfff	ffff		1,2
XORWF	f, d	Exclusive OR W with f	1	00	0110	dfff	ffff	Z	1,2
BIT-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS									
BCF	f, b	Bit Clear f	1	01	00bb	bfff	ffff		1,2
BSF	f, b	Bit Set f	1	01	01bb	bfff	ffff		1,2
BTFSC	f, b	Bit Test f, Skip if Clear	1 (2)	01	10bb	bfff	ffff		3
BTFSS	f, b	Bit Test f, Skip if Set	1 (2)	01	11bb	bfff	ffff		3
LITERAL AND CONTROL OPERATIONS									
ADDLW	k	Add literal and W	1	11	111x	kkkk	kkkk	C,DC,Z	
ANDLW	k	AND literal with W	1	11	1001	kkkk	kkkk	Z	
CALL	k	Call subroutine	2	10	0kkk	kkkk	kkkk		
CLRWDT	-	Clear Watchdog Timer	1	00	0000	0110	0100	TO,PD	
GOTO	k	Go to address	2	10	1kkk	kkkk	kkkk		
IORLW	k	Inclusive OR literal with W	1	11	1000	kkkk	kkkk	Z	
MOVLW	k	Move literal to W	1	11	00xx	kkkk	kkkk		
RETFIE	-	Return from interrupt	2	00	0000	0000	1001		
RETLW	k	Return with literal in W	2	11	01xx	kkkk	kkkk		
RETURN	-	Return from Subroutine	2	00	0000	0000	1000		
SLEEP	-	Go into standby mode	1	00	0000	0110	0011	TO,PD	
SUBLW	k	Subtract W from literal	1	11	110x	kkkk	kkkk	C,DC,Z	
XORLW	k	Exclusive OR literal with W	1	11	1010	kkkk	kkkk	Z	

- Note 1: When an I/O register is modified as a function of itself (e.g., MOVF PORTB, 1), the value used will be that value present on the pins themselves. For example, if the data latch is '1' for a pin configured as input and is driven low by an external device, the data will be written back with a '0'.
- 2: If this instruction is executed on the TMR0 register (and, where applicable, d = 1), the prescaler will be cleared if assigned to the Timer0 Module.
- 3: If Program Counter (PC) is modified or a conditional test is true, the instruction requires two cycles. The second cycle is executed as a NOP.

15.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

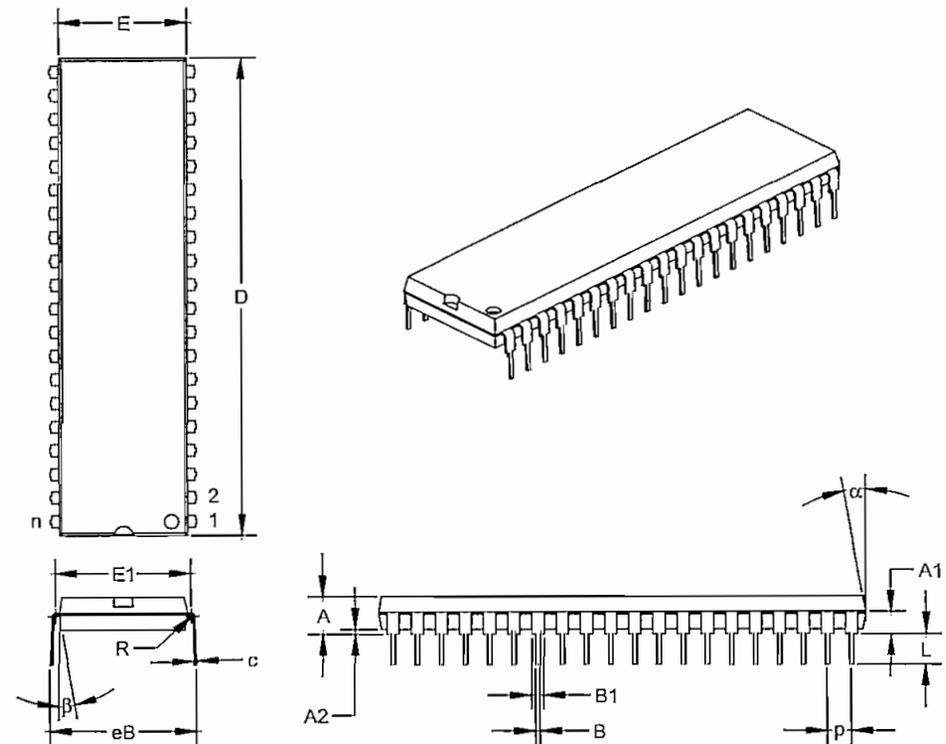
Ambient temperature under bias.....	-55 to +125°C
Storage temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to V _{SS} (except V _{DD} , $\overline{\text{MCLR}}$, and RA4).....	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)
Voltage on V _{DD} with respect to V _{SS}	-0.3 to +7.5V
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to V _{SS} (Note 2).....	0 to +14V
Voltage on RA4 with respect to V _{SS}	0 to +8.5V
Total power dissipation (Note 1).....	1.0W
Maximum current out of V _{SS} pin.....	300 mA
Maximum current into V _{DD} pin.....	250 mA
Input clamp current, I _{IK} (V _I < 0 or V _I > V _{DD}).....	± 20 mA
Output clamp current, I _{OK} (V _O < 0 or V _O > V _{DD}).....	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin.....	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3).....	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3).....	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (combined) (Note 3).....	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (combined) (Note 3).....	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows: $P_{dis} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

Note 2: Voltage spikes below V_{SS} at the $\overline{\text{MCLR}}$ pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the $\overline{\text{MCLR}}$ pin rather than pulling this pin directly to V_{SS}.

Note 3: PORTD and PORTE are not implemented on the 28-pin devices.

† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.



Units		INCHES*			MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Dimension Limits			0.600			15.24	
PCB Row Spacing							
Number of Pins	n		40			40	
Pitch	p		0.100			2.54	
Lower Lead Width	B	0.016	0.018	0.020	0.41	0.46	0.51
Upper Lead Width	B1†	0.045	0.050	0.055	1.14	1.27	1.40
Shoulder Radius	R	0.000	0.005	0.010	0.00	0.13	0.25
Lead Thickness	c	0.009	0.010	0.011	0.23	0.25	0.28
Top to Seating Plane	A	0.110	0.160	0.160	2.79	4.06	4.06
Top of Lead to Seating Plane	A1	0.073	0.093	0.113	1.85	2.36	2.87
Base to Seating Plane	A2	0.020	0.020	0.040	0.51	0.51	1.02
Tip to Seating Plane	L	0.125	0.130	0.135	3.18	3.30	3.43
Package Length	D‡	2.013	2.018	2.023	51.13	51.26	51.38
Molded Package Width	E‡	0.530	0.535	0.540	13.46	13.59	13.72
Radius to Radius Width	E1	0.545	0.565	0.585	13.84	14.35	14.86
Overall Row Spacing	eB	0.630	0.610	0.670	16.00	15.49	17.02
Mold Draft Angle Top	alpha	5	10	15	5	10	15
Mold Draft Angle Bottom	beta	5	10	15	5	10	15

* Controlling Parameter.
 † Dimension "B1" does not include dam-bar protrusions. Dam-bar protrusions shall not exceed 0.003" (0.076 mm) per side or 0.006" (0.152 mm) more than dimension "B1."
 ‡ Dimensions "D" and "E" do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010" (0.254 mm) per side or 0.020" (0.508 mm) more than dimensions "D" or "E."

ANEXO C.2

SCR S8035K

Selected Packages*
U.L. RECOGNIZED
File #E7 1639



TO-202



TO-92



*TO-218



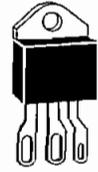
TO-263
D²Pak



TO-252
D-Pak



3-lead
Compak



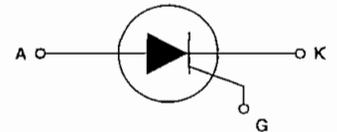
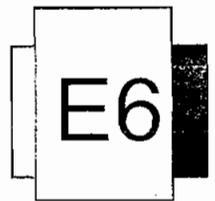
*TO-218X



*TO-220



TO-251
V-Pak



SCRs

(1 A to 70 A)

General Description

The Teccor line of thyristor SCR semi-conductors are half-wave, unidirectional, gate-controlled rectifiers which complement Teccor's line of sensitive SCRs. Teccor offers devices with ratings of 1 A to 70 A and 200 V to 1000 V, with gate sensitivities from 10 mA to 50 mA. If gate currents in the 12 μ A to 500 μ A ranges are required, see "Sensitive SCRs" section of this catalog.

Three packages are offered in electrically isolated construction where the case or tab is internally isolated to allow the use of low-cost assembly and convenient packaging techniques.

The Teccor line of SCRs features glass-passivated junctions to ensure long-term reliability and parameter stability. Teccor's glass offers a rugged, reliable barrier against junction contamination.

Variations of devices covered in this data sheet are available for custom design applications. Consult the factory for more information.

Features

- Electrically-isolated package
- High voltage capability — 200 V to 1000 V
- High surge capability — up to 950 A
- Glass-passivated chip

Compak SCR

- Surface mount package — 1 A series
- New small profile three-leaded Compak package
- Packaged in embossed carrier tape with 2,500 devices per reel
- Can replace SOT-223

TYPE	Part Number						I_T		V_{DRM} & V_{RRM}	I_{GT}	
	Isolated			Non-isolated			(1)	(2) (15)		(4)	
	 TO-92	 TO-220	 TO-202	 TO-220	 TO-251 V-Pak	 Compak	 TO-252 D-Pak	Amps		Volts	mAmps
See "Package Dimensions" section for variations. (11)							$I_{T(RMS)}$	$I_{T(AV)}$	MIN	MIN	MAX
							MAX	MAX			
1 A	S201E				S2N1		1	0.64	200	1	10
	S401E				S4N1		1	0.64	400	1	10
	S601E				S6N1		1	0.64	600	1	10
6 A	S2006L	S2006F1		S2006V		S2006D	6	3.8	200	1	15
	S4006L	S4006F1		S4006V		S4006D	6	3.8	400	1	15
	S6006L	S6006F1		S6006V		S6006D	6	3.8	600	1	15
	S8006L			S8006V		S8006D	6	3.8	800	1	15
	SK006L			SK006V		SK006D	6	3.8	1000	1	15
8 A	S2008L	S2008F1	S2008R	S2008V		S2008D	8	5.1	200	1	15
	S4008L	S4008F1	S4008R	S4008V		S4008D	8	5.1	400	1	15
	S6008L	S6008F1	S6008R	S6008V		S6008D	8	5.1	600	1	15
	S8008L		S8008R	S8008V		S8008D	8	5.1	800	1	15
	SK008L		SK008R	SK008V		SK008D	8	5.1	1000	1	15
10 A	S2010L	S2010F1	S2010R	S2010V		S2010D	10	6.4	200	1	15
	S4010L	S4010F1	S4010R	S4010V		S4010D	10	6.4	400	1	15
	S6010L	S6010F1	S6010R	S6010V		S6010D	10	6.4	600	1	15
	S8010L		S8010R	S8010V		S8010D	10	6.4	800	1	15
	SK010L		SK010R	SK010V		SK010D	10	6.4	1000	1	15
12 A			S2012R	S2012V		S2012D	12	7.6	200	1	20
			S4012R	S4012V		S4012D	12	7.6	400	1	20
			S6012R	S6012V		S6012D	12	7.6	600	1	20
			S8012R	S8012V		S8012D	12	7.6	800	1	20
			SK012R	SK012V		SK012D	12	7.6	1000	1	20

Specific Test Conditions

di/dt — Maximum rate-of-rise of on-state current; $I_{GT} = 150$ mA with ≤ 0.1 μ s rise time

dv/dt — Critical rate of applied forward voltage

i^2t — RMS surge (non-repetitive) on-state current for period of 8.3 ms for fusing

I_{DRM} and I_{RRM} — Peak off-state forward and reverse current at V_{DRM} and V_{RRM}

I_{gt} — dc gate trigger current; $V_D = 12$ V dc; $R_L = 60$ Ω for 1 to 16 A devices and 30 Ω for 20 to 70 A devices

I_{GM} — Peak gate current

I_H — dc holding current; gate open

I_T — Maximum on-state current

I_{TSM} — Peak one-cycle forward surge current

$P_{G(AV)}$ — Average gate power dissipation

P_{GM} — Peak gate power dissipation

t_{gt} — Gate controlled turn-on time; gate pulse = 100 mA; minimum width = 15 μ s with rise time ≤ 0.1 μ s

t_q — Circuit commutated turn-off time

V_{DRM} and V_{RRM} — Repetitive peak off-state forward and reverse voltage

V_{gt} — DC gate trigger voltage; $V_D = 12$ V dc; $R_L = 60$ Ω for 1 to 16 A devices and 30 Ω for 20 to 70 A devices

V_{TM} — Peak on-state voltage at maximum rated RMS current

General Notes

- All measurements are made at 60 Hz with a resistive load at an ambient temperature of +25 °C unless otherwise specified.
- Operating temperature range (T_J) is -65 °C to +125 °C for TO-92 devices and -40 °C to +125 °C for all other packages.
- Storage temperature range (T_S) is -65 °C to +150 °C for TO-92 devices, -40 °C to +150 °C for TO-202 and TO-220 devices, and -40 °C to +125 °C for all others.
- Lead solder temperature is a maximum of 230 °C for 10 seconds maximum; $\geq 1/16"$ (1.59 mm) from case.
- The case temperature (T_C) is measured as shown on dimensional outline drawings in the "Package Dimensions" section of this catalog.

I _{DRM} & I _{RRM}			V _{TM}	V _{GT}	I _H	I _{GM}	P _{GM}	P _{G(AV)}	I _{TSM}	dv/dt	i ² t	di/dt	t _{gt}	t _q	
(14)			(3)	(8) (17)	(5) (13)	(12)	(12)		(6) (10)				(7)	(9) (10)	
mAmps			Volts	Volts					Amps	Volts/μSec					
T _C = 25 °C	T _C = 100 °C	T _C = 125 °C	T _C = 25 °C	T _C = 25 °C	mAmps	Amps	Watts	Watts	60/50 Hz	T _C = 100 °C	T _C = 125 °C	Amps ² Sec	Amps/μSec	μSec	μSec
MAX			MAX	MAX	MAX					MIN	MIN			TYP	MAX
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	1.5	15	0.3	30/25	40	20	3.7	50	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	1.5	15	0.3	30/25	40	20	3.7	50	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	1.5	15	0.3	30/25	40	20	3.7	50	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	350	250	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	350	250	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	300	225	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	250	200	41	100	2	35
0.02	3		1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	100		41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	350	250	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	350	250	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	300	225	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	250	200	41	100	2	35
0.02	3		1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	100		41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	350	250	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	350	250	41	100	2	35
0.01	0.2	0.5	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	300	225	41	100	2	35
0.02	0.5	1	1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	250	200	41	100	2	35
0.02	3		1.6	1.5	30	2	20	0.5	100/83	100		41	100	2	35
0.01	0.5	1	1.6	1.5	40	2	20	0.5	120/100	350	250	60	100	2	35
0.01	0.5	1	1.6	1.5	40	2	20	0.5	120/100	350	250	60	100	2	35
0.01	0.5	1	1.6	1.5	40	2	20	0.5	120/100	300	225	60	100	2	35
0.02	0.5	1	1.6	1.5	40	2	20	0.5	120/100	250	200	60	100	2	35
0.02	3		1.6	1.5	40	2	20	0.5	120/100	100		60	100	2	35

Electrical Specification Notes

- (1) See Figure E6.5 through Figure E6.16 for current rating at specified operating case temperature.
- (2) See Figure E6.1 and Figure E6.2 for free air current rating.
- (3) See Figure E6.19 and Figure E6.20 for instantaneous on-state current versus on-state voltage (typical).
- (4) See Figure E6.18 for I_{GT} versus T_C.
- (5) See Figure E6.17 for I_H versus T_C.
- (6) For more than one full cycle rating, see Figure E6.23.
- (7) See Figure E6.22 for t_{gt} versus I_{GT}.
- (8) See Figure E6.21 for V_{GT} versus T_C.
- (9) Test conditions are as follows:
 - I_T = 1 A for 1 A devices and 2 A for all other devices
 - Pulse duration = 50 μs, dv/dt = 20 V/μs, di/dt = -10 A/μs for 1 A devices, and -30 A/μs for other devices
 - I_{GT} = 200 mA at turn-on
- (10) See Figure E6.5 through Figure E6.10 for maximum allowable case temperatures at maximum rated current.
- (11) See package outlines for lead form configuration. When ordering special lead forming, add type number as suffix to part number.
- (12) Pulse width ≤ 10 μs
- (13) Initial on-state current = 200 mA dc for 1 A through 16 A devices; 400 mA dc for 20 A through 70 A devices.
- (14) T_C = T_J for test conditions in off state.
- (15) The R, K, or M package rating is intended for high surge condition use only and not recommended for ≥ 50 A rms continuous current use since an arrow pin lead temperature can exceed PCB solder melting temperature. Teccor's J package or W package is recommended for ≥ 50 A rms continuous current requirements.
- (16) For various durations of an exponentially decaying current waveform, see Figure E6.3 and Figure E6.4. (t_w is defined as 5 time constants.)
- (17) Minimum non-trigger V_{GT} at 125 °C is 0.2 V.

TYPE	Part Number						I _T		V _{DRM} & V _{RRM}	I _{GT}		I _{DRM} & I _{RRM}			
	Isolated			Non-Isolated			(1) (15)		Volts	(4)		(14)			
							Amps			mAmps	mAmps				
	TO-220	TO-218X	TO-218	TO-220	TO-218X	TO-218	I _{T(RMS)}	I _{T(AV)}	T _C = 25 °C		T _C = 100 °C	T _C = 125 °C			
See "Package Dimensions" section for variations. (11)												MAX			
15 A	S2015L						15	9.5	200	1	30	0.01	0.5	1	
	S4015L						15	9.5	400	1	30	0.01	0.5	1	
	S6015L						15	9.5	600	1	30	0.01	0.5	1	
	S8015L						15	9.5	800	1	30	0.02	1	2	
	SK015L						15	9.5	1000	1	30	0.02	3		
16 A				S2016R			S2016N	16	10	200	1	30	0.01	0.5	1
				S4016R			S4016N	16	10	400	1	30	0.01	0.5	1
				S6016R			S6016N	16	10	600	1	30	0.01	0.5	1
				S8016R			S8016N	16	10	800	1	30	0.02	1	2
				SK016R			SK016N	16	10	1000	1	30	0.02	3	
20 A	S2020L						20	12.8	200	1	30	0.01	0.5	1	
	S4020L						20	12.8	400	1	30	0.01	0.5	1	
	S6020L						20	12.8	600	1	30	0.01	0.5	1	
	S8020L						20	12.8	800	1	30	0.02	1.0	2	
	SK020L						20	12.8	1000	1	30	0.02	3		
25 A	S2025L			S2025R			S2025N	25	16	200	1	35	0.01	1	2
	S4025L			S4025R			S4025N	25	16	400	1	35	0.01	1	2
	S6025L			S6025R			S6025N	25	16	600	1	35	0.01	1	2
	S8025L			S8025R			S8025N	25	16	800	1	35	0.02	1.5	3
	SK025L			SK025R			SK025N	25	16	1000	1	35	0.02	3	
35 A		S2035J	S2035K					35	22	200	5	40	0.01	1	2
		S4035J	S4035K					35	22	400	5	40	0.01	1	2
		S6035J	S6035K					35	22	600	5	40	0.01	1	2
		S8035J	S8035K					35	22	800	5	40	0.02	1.5	3
			SK035K					35	22	1000	5	40	0.02	3	
40 A				S2040R			S2040N	40	25	200	5	40	0.01	1	2
				S4040R			S4040N	40	25	400	5	40	0.01	1	2
				S6040R			S6040N	40	25	600	5	40	0.01	1	2
				S8040R			S8040N	40	25	800	5	40	0.02	1.5	3
				SK040R			SK040N	40	25	1000	5	40	0.03	5	
55 A				S2055R	S2055W	S2055M	S2055N	55	35	200	5	40	0.01	1	2
				S4055R	S4055W	S4055M	S4055N	55	35	400	5	40	0.01	1	2
				S6055R	S6055W	S6055M	S6055N	55	35	600	5	40	0.01	1	2
				S8055R	S8055W	S8055M	S8055N	55	35	800	5	40	0.02	1.5	3
				SK055R			SK055M	SK055N	55	35	1000	5	40	0.03	5
65 A		S2065J	S2065K					65	41	200	5	50	0.02	1.5	3
		S4065J	S4065K					65	41	400	5	50	0.02	1.5	3
		S6065J	S6065K					65	41	600	5	50	0.02	1.5	3
		S8065J	S8065K					65	41	800	5	50	0.02	2	5
			SK065K					65	41	1000	5	50	0.03	5	
70 A					S2070W			70	45	200	5	50	0.02	1.5	3
					S4070W			70	45	400	5	50	0.02	1.5	3
					S6070W			70	45	600	5	50	0.02	1.5	3
					S8070W			70	45	800	5	50	0.02	2	5

See "General Notes" on page E6 - 2 and "Electrical Specification Notes" on page E6 - 3.

V_{TM}	V_{GT}	I_H	I_{GM}	P_{GM}	$P_{G(AV)}$	I_{TSM}	dv/dt		I^2t	di/dt	t_{gt}	t_q
(3)	(8) (17)	(5) (13)	(12)	(12)		(6) (10) (16)					(7)	(9) (10)
Volts	Volts					Amps	Volts/ μ Sec					
$T_C = 25^\circ C$	$T_C = 25^\circ C$	mAmps	Amps	Watts	Watts	60/50 Hz	$T_C = 100^\circ C$	$T_C = 125^\circ C$	Amps ² Sec	Amps/ μ Sec	μ Sec	μ Sec
MAX	MAX	MAX					MIN	MIN			TYP	MAX
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	450	350	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	450	350	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	425	325	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	400	300	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	200		210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	450	350	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	450	350	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	425	325	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	400	300	210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	225/188	200		210	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	300/255	450	350	374	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	300/255	450	350	374	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	300/255	425	325	374	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	300/255	400	300	374	125	2	35
1.6	1.5	40	3	30	0.6	300/255	200		374	125	2	35
1.6	1.5	50	3.5	35	0.8	350/300	450	350	510	150	2	35
1.6	1.5	50	3.5	35	0.8	350/300	450	350	510	150	2	35
1.6	1.5	50	3.5	35	0.8	350/300	425	325	510	150	2	35
1.6	1.5	50	3.5	35	0.8	350/300	400	300	510	150	2	35
1.6	1.5	50	3.5	35	0.8	350/300	200		510	150	2	35
1.8	1.5	50	3.5	35	0.8	500/425	450	350	1035	150	2	35
1.8	1.5	50	3.5	35	0.8	500/425	450	350	1035	150	2	35
1.8	1.5	50	3.5	35	0.8	500/425	425	325	1035	150	2	35
1.8	1.5	50	3.5	35	0.8	500/425	400	300	1035	150	2	35
1.8	1.5	50	3.5	35	0.8	500/425	200		1035	150	2	35
1.8	1.5	60	3.5	35	0.8	520/430	650	550	1122	175	2.5	35
1.8	1.5	60	3.5	35	0.8	520/430	650	550	1122	175	2.5	35
1.8	1.5	60	3.5	35	0.8	520/430	600	500	1122	175	2.5	35
1.8	1.5	60	3.5	35	0.8	520/430	500	475	1122	175	2.5	35
1.8	1.5	60	3.5	35	0.8	520/430	250		1122	175	2.5	35
1.8	1.5	60	4	40	0.8	650/550	650	550	1750	175	2.5	35
1.8	1.5	60	4	40	0.8	650/550	650	550	1750	175	2.5	35
1.8	1.5	60	4	40	0.8	650/550	600	500	1750	175	2.5	35
1.8	1.5	60	4	40	0.8	650/550	500	475	1750	175	2.5	35
1.8	1.5	60	4	40	0.8	650/550	250		1750	175	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	650	550	3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	650	550	3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	600	500	3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	500	475	3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	250		3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	650	550	3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	650	550	3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	600	500	3745	200	2.5	35
1.8	2	80	5	50	1	950/800	500	475	3745	200	2.5	35

See "General Notes" on page E6 - 2 and "Electrical Specification Notes" on page E6 - 3.

Thermal Resistance (Steady State) $R_{\theta JC}$ [$R_{\theta JA}$] °C/W (TYP.)											
Pkg. Code	L	F	F2	R	J	W	K	M	D	V	N
Type											
	TO-220 Isolated	TO-202 Type 1 Non-Isolated	TO-202 Type 2 Non-Isolated	TO-220 Non-Isolated	TO-218X Isolated	TO-218X Non-Isolated	TO-218 Isolated	TO-218 Non-Isolated	TO-252 D-Pak Surface Mount	TO-251AA V-Pak Non-Isolated	TO-263 D²Pak Non-Isolated
1 A	See below										
6 A	4.0 [50]	4.3 [45]	9.5 [70]						1.7	2.3 [70]	
8 A	3.4	3.9		1.8 [40]					1.5	2.0	
10 A	3.0	3.4		1.6					1.45	1.7	
12 A				1.5					1.4	1.6	
15 A	2.5										
16 A				1.3							1.3
20 A	2.4										
25 A	2.35			1.0							1.0
35 A					0.70		0.70				
40 A				0.6							0.6
55 A				0.5		0.53		0.53			0.5
65 A					0.86		0.86				
70 A						0.60					

Thermal Resistance (Steady State) $R_{\theta JC}$ [$R_{\theta JA}$] °C/W (TYP.)		
Package Code	C	E
Type		
	Compak	TO-92
1 A	35 *	50 [145]

* Mounted on 1cm² copper foil surface; two-ounce copper foil

Electrical Isolation

Teccor's isolated SCR packages will withstand a minimum high potential test of 2500 V ac rms from leads to mounting tab over the device's operating temperature range. The following table shows standard and optional isolation ratings.

Electrical Isolation * from Leads to Mounting Tab			
V AC RMS	TO-220 Isolated	TO-218X Isolated	TO-218 Isolated
2500	Standard	Standard	Standard
4000	Optional **	N/A	N/A

* UL Recognized File #E71639

** For 4000 V Isolation, use "V" suffix in part number.

ANEXO C.3

OPTOTRANSISTOR 4N25

4N25
4N37

4N26
H11A1

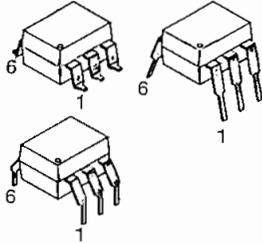
4N27
H11A2

4N28
H11A3

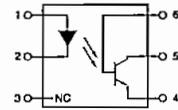
4N35
H11A4

4N36
H11A5

WHITE PACKAGE (-M SUFFIX)

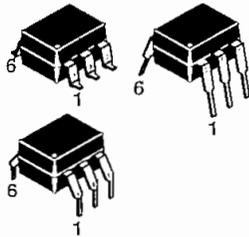


SCHEMATIC



PIN 1, ANODE
2, CATHODE
3, NO CONNECTION
4, EMITTER
5, COLLECTOR
6, BASE

BLACK PACKAGE (NO -M SUFFIX)



DESCRIPTION

The general purpose optocouplers consist of a gallium arsenide infrared emitting diode driving a silicon phototransistor in a 6-pin dual in-line package.

FEATURES

- Also available in white package by specifying -M suffix, eg. 4N25-M
- UL recognized (File # E90700)
- VDE recognized (File # 94766)
 - Add option V for white package (e.g., 4N25V-M)
 - Add option 300 for black package (e.g., 4N25.300)

APPLICATIONS

- Power supply regulators
- Digital logic inputs
- Microprocessor inputs

**4N25
4N37**

**4N26
H11A1**

**4N27
H11A2**

**4N28
H11A3**

**4N35
H11A4**

**4N36
H11A5**

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Value	Units
TOTAL DEVICE			
Storage Temperature	T_{STG}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Wave solder temperature (see page 14 for reflow solder profiles)	T_{SOL}	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 3.3 (non-M), 2.94 (-M)	mW mW
EMITTER			
DC/Average Forward Input Current	I_F	100 (non-M), 60 (-M)	mA
Reverse Input Voltage	V_R	6	V
Forward Current - Peak (300 μs , 2% Duty Cycle)	$I_F(\text{pk})$	3	A
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150 (non-M), 120 (-M) 2.0 (non-M), 1.41 (-M)	mW mW/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR			
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	V
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	V
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150 2.0 (non-M), 1.76 (-M)	mW mW/ $^\circ\text{C}$

4N25
4N37

4N26
H11A1

4N27
H11A2

4N28
H11A3

4N35
H11A4

4N36
H11A5

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ*	Max	Unit
EMITTER						
Input Forward Voltage	($I_F = 10 \text{ mA}$)	V_F		1.18	1.50	V
Reverse Leakage Current	($V_R = 6.0 \text{ V}$)	I_R		0.001	10	μA
DETECTOR						
Collector-Emitter Breakdown Voltage	($I_C = 1.0 \text{ mA}, I_F = 0$)	BV_{CEO}	30	100		V
Collector-Base Breakdown Voltage	($I_C = 100 \mu\text{A}, I_F = 0$)	BV_{CBO}	70	120		V
Emitter-Collector Breakdown Voltage	($I_E = 100 \mu\text{A}, I_F = 0$)	BV_{ECO}	7	10		V
Collector-Emitter Dark Current	($V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0$)	I_{CEO}		1	50	nA
Collector-Base Dark Current	($V_{CB} = 10 \text{ V}$)	I_{CBO}			20	nA
Capacitance	($V_{CE} = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$)	C_{CE}		8		pF

ISOLATION CHARACTERISTICS

Characteristic	Test Conditions	Symbol	Min	Typ*	Max	Units
Input-Output Isolation Voltage	(Non '-M', Black Package) ($f = 60 \text{ Hz}, t = 1 \text{ min}$)	V_{ISO}	5300			Vac(rms)
	('-M', White Package) ($f = 60 \text{ Hz}, t = 1 \text{ sec}$)		7500			Vac(pk)
Isolation Resistance	($V_{I-O} = 500 \text{ VDC}$)	R_{ISO}	10^{11}			Ω
Isolation Capacitance	($V_{I-O} = \&, f = 1 \text{ MHz}$)	C_{ISO}		0.5		pF
	('-M' White Package)			0.2	2	pF

Note

* Typical values at $T_A = 25^\circ\text{C}$

4N25
4N37

4N26
H11A1

4N27
H11A2

4N28
H11A3

4N35
H11A4

4N36
H11A5

TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

DC Characteristic	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ*	Max	Unit
Current Transfer Ratio, Collector to Emitter	$(I_F = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V})$	CTR	4N35 4N36 4N37	100			%
			H11A1	50			
			H11A5	30			
	4N25 4N26 H11A2 H11A3		20				
	4N27 4N28 H11A4		10				
	4N35 4N36 4N37		40				
	$(I_F = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, T_A = -55^\circ\text{C})$		4N35 4N36 4N37	40			
	$(I_F = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, T_A = +100^\circ\text{C})$		4N35 4N36 4N37	40			
Collector-Emitter Saturation Voltage	$(I_C = 2 \text{ mA}, I_F = 50 \text{ mA})$	$V_{CE(SAT)}$	4N25 4N26 4N27 4N28			0.5	V
	$(I_C = 0.5 \text{ mA}, I_F = 10 \text{ mA})$		4N35 4N36 4N37			0.3	
			H11A1 H11A2 H11A3 H11A4 H11A5			0.4	
AC Characteristic							
Non-Saturated Turn-on Time	$(I_F = 10 \text{ mA}, V_{CC} = 10 \text{ V}, R_L = 100\Omega)$ (Fig.20)	T_{ON}	4N25 4N26 4N27 4N28 H11A1 H11A2 H11A3 H11A4 H11A5		2		μs
Non Saturated Turn-on Time	$(I_C = 2 \text{ mA}, V_{CC} = 10 \text{ V}, R_L = 100\Omega)$ (Fig.20)	T_{ON}	4N35 4N36 4N37		2	10	μs

4N25
4N37

4N26
H11A1

4N27
H11A2

4N28
H11A3

4N35
H11A4

4N36
H11A5

TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.) (Continued)

AC Characteristic	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ*	Max	Unit
Turn-off Time	($I_F = 10 \text{ mA}$, $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_L = 100\Omega$) (Fig.20)	T_{OFF}	4N25 4N26 4N27 4N28 H11A1 H11A2 H11A3 H11A4 H11A5		2		μs
	($I_C = 2 \text{ mA}$, $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_L = 100\Omega$) (Fig.20)		4N35 4N36 4N37		2	10	

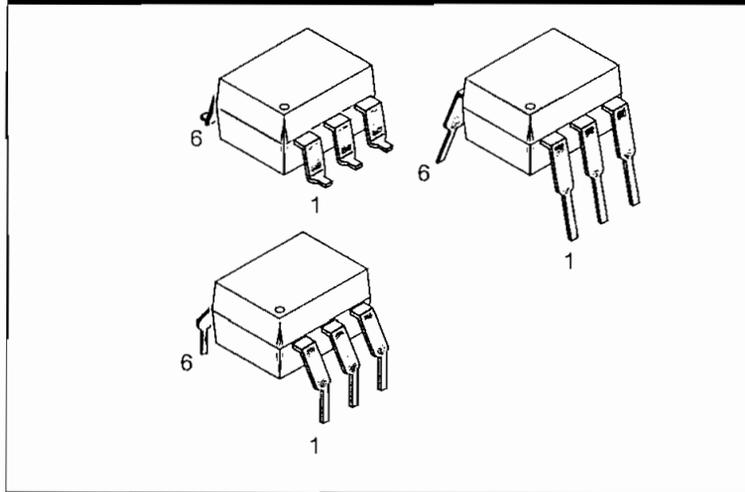
* Typical values at $T_A = 25^\circ\text{C}$

ANEXO C.4

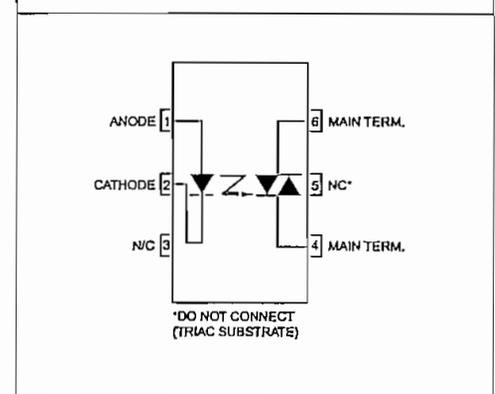
OPTOTRIAC MOC3021

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

PACKAGE



SCHEMATIC



DESCRIPTION

The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115 VAC operations.

FEATURES

- Excellent I_{FT} stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
 - 250V-MOC301XM
 - 400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
 - Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

APPLICATIONS

- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)				
Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T_{STG}	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	All	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V_{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25°C Derate above 25°C	P_D	All	330	mW
			4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
EMITTER				
Continuous Forward Current	I_F	All	60	mA
Reverse Voltage	V_R	All	3	V
Total Power Dissipation 25°C Ambient Derate above 25°C	P_D	All	100	mW
			1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	MOC3010M/1M/2M MOC3020M/1M/2M/3M	250 400	V
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	All	1	A
Total Power Dissipation @ 25°C Ambient Derate above 25°C	P_D	All	300	mW
			4	mW/ $^\circ\text{C}$

Note

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F	All		1.15	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 3\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	I_R	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated $V_{DRM}, I_F = 0$ (note 1)	I_{DRM}	All		10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{ mA peak}, I_F = 0$	V_{TM}	All		1.8	3	V

TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

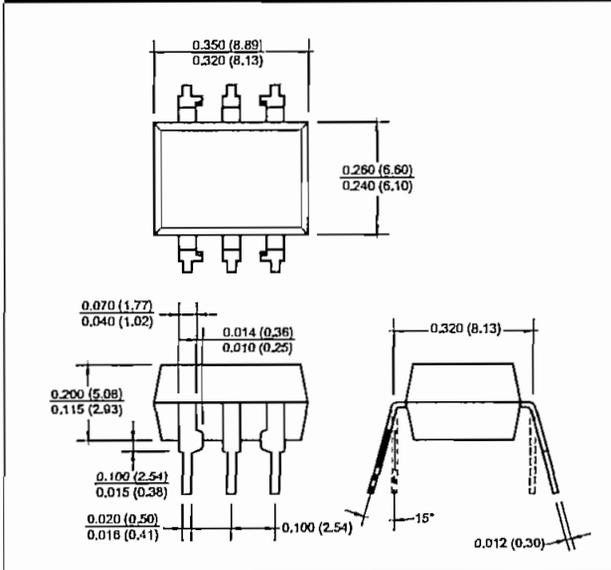
DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Voltage = 3V (note 3)	I_{FT}	MOC3020M			30	mA
			MOC3010M			15	
			MOC3021M				
			MOC3011M			10	
			MOC3022M				
			MOC3012M			5	
			MOC3023M				
Holding Current, Either Direction		I_H	All		100		μA

Note

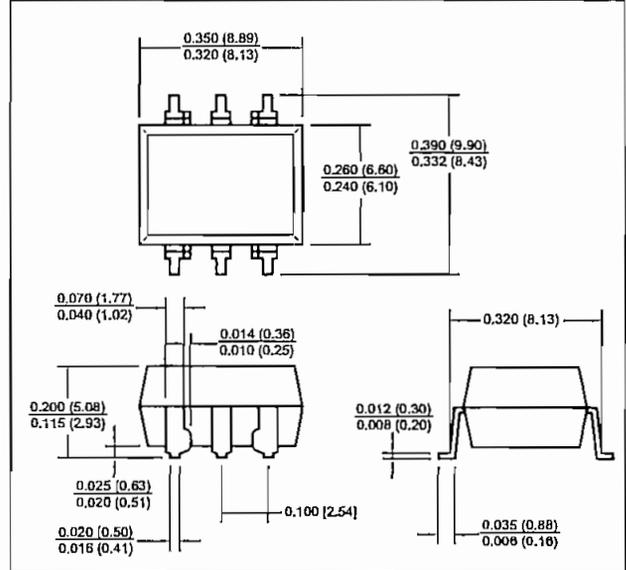
1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. This is static dv/dt . See Figure 5 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I_F (60 mA).

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

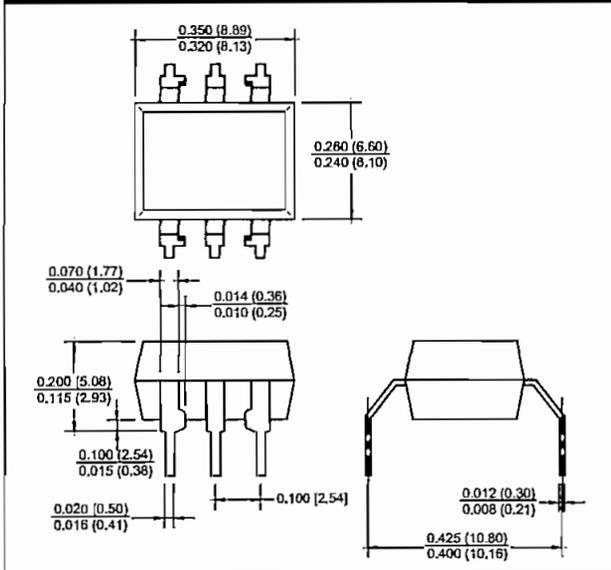
Package Dimensions (Through Hole)



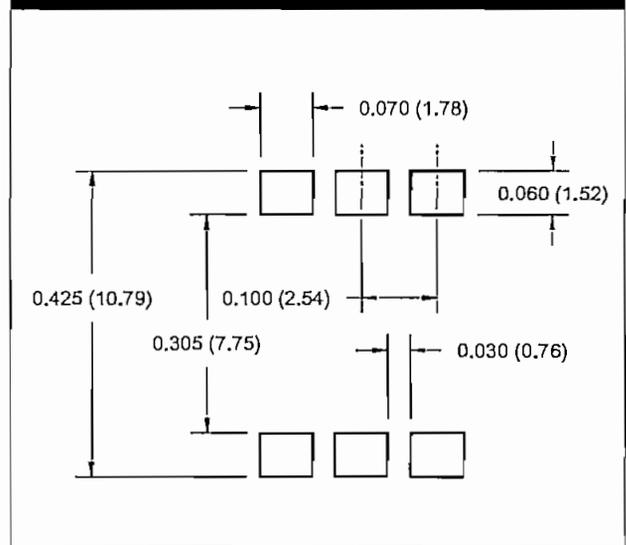
Package Dimensions (Surface Mount)



Package Dimensions (0.4" Lead Spacing)



Recommended Pad Layout for Surface Mount Leadform



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)

ANEXO C.5

PUENTE RECTIFICADOR W06M

Features

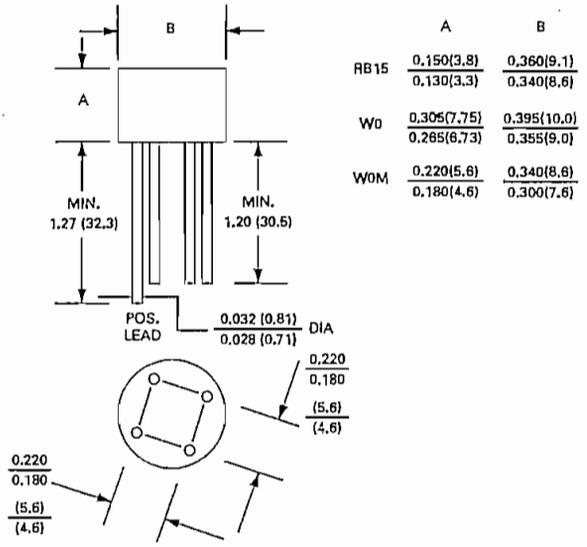
- Surge overload rating - 50 amperes peak
- Ideal for printed circuit boards
- Reliable low cost construction utilizing molded plastic technique results in inexpensive product
- Mounting Position: Any

VOLTAGE RANGE

50 to 1000 Volts

CURRENT

1.5 Amperes

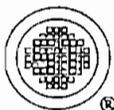


Dimensions in inches and (millimeters)

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified
Single-phase, half-wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

	RB151	RB152	RB153	RB154	RB155	RB156	RB157	
	W005	W01	W02	W04	W06	W08	W10	
	W005M	W01M	W02M	W04M	W06M	W08M	W10M	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	1.5							A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	50.0							A
1 st Rating for fusing (t<8.35ms)	5.0							A [†]
Maximum Forward Voltage drop per element at 1.0A Peak	1.0							V
Maximum Reverse Current at rated $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	10.0							μA
Operating Temperature Range T_J	-55 to + 125							$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range T_A	-55 to + 150							$^\circ\text{C}$



SEMTECH ELECTRONICS LTD.

(wholly owned subsidiary of HONEY TECHNOLOGY LTD.)



1.5A SINGLE - PHASE SILICON BRIDGE

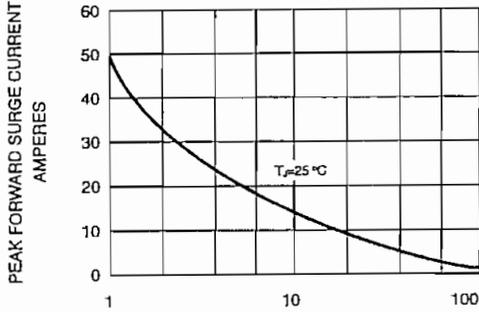
RATING AND CHARACTERISTICS CURVES

RB151 RB157

W005 THRU W10

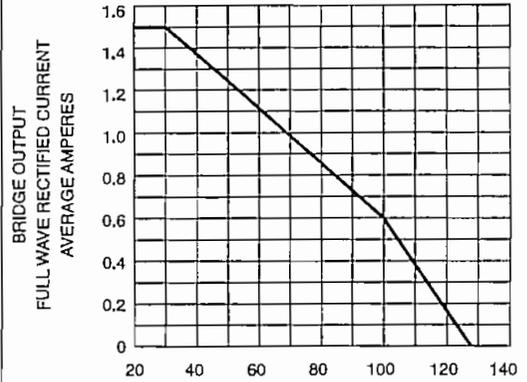
W005M W10M

FIG. 1-MAXIMUM FORWARD SURGE CURRENT



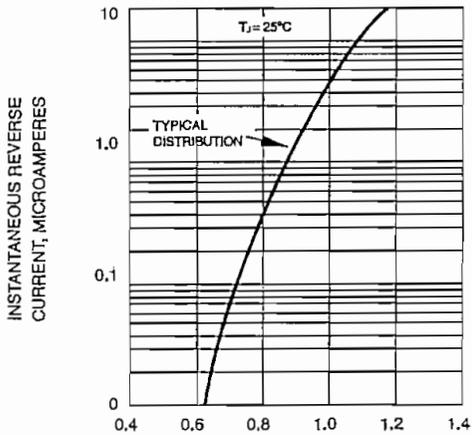
NUMBER OF CYCLES AT 60 Hz

FIG. 2-DERATING CURVE
OUTPUT RECTIFIED CURRENT



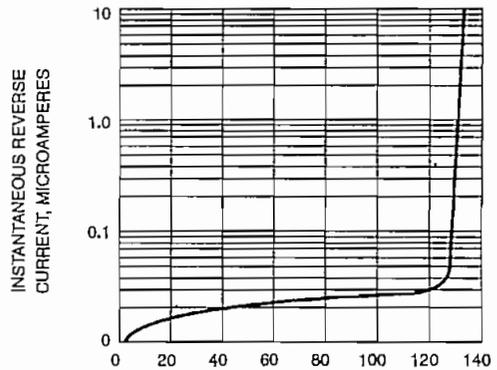
AMBIENT TEMPERATURE, °C

FIG. 3-TYPICAL FORWARD
CHARACTERISTICS



INSTANTEOUS FORWARD VOLTAGE, VOLTS

FIG. 4-TYPICAL REVERSE
CHARACTERISTICS



PERCENT OF RATED PEAK
REVERSE VOLTAGE



SEMTECH ELECTRONICS LTD.
(wholly owned subsidiary of HONEY TECHNOLOGY LTD.)



ANEXO D

RUTEADOS TARJETAS ELECTRÓNICAS

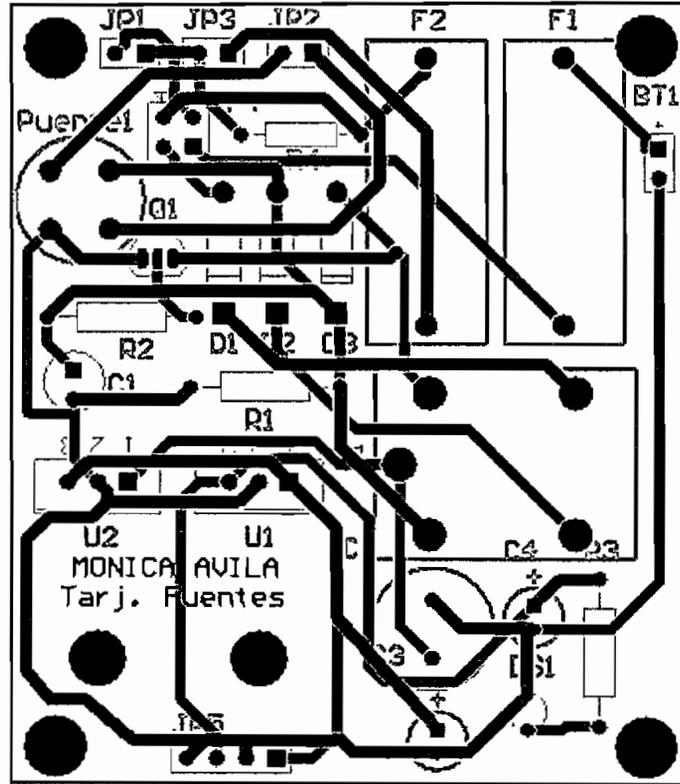


Figura D.1 Ruteado Tarjeta Fuentes

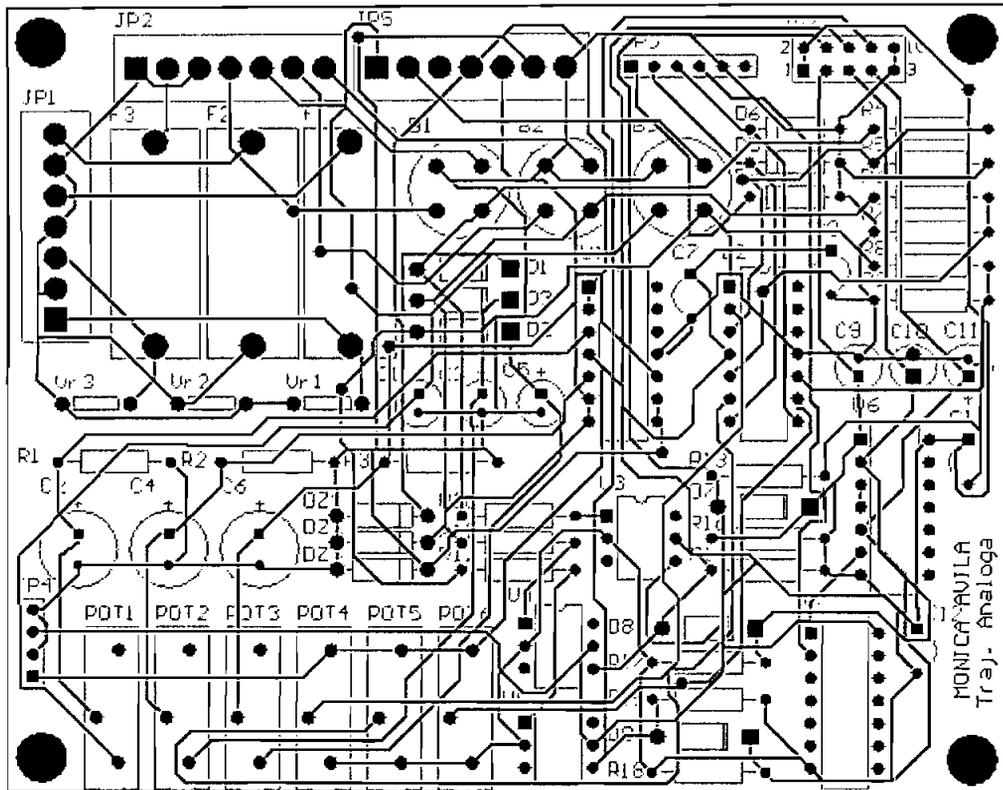


Figura D.2 Ruteado Tarjeta Acondicionamiento

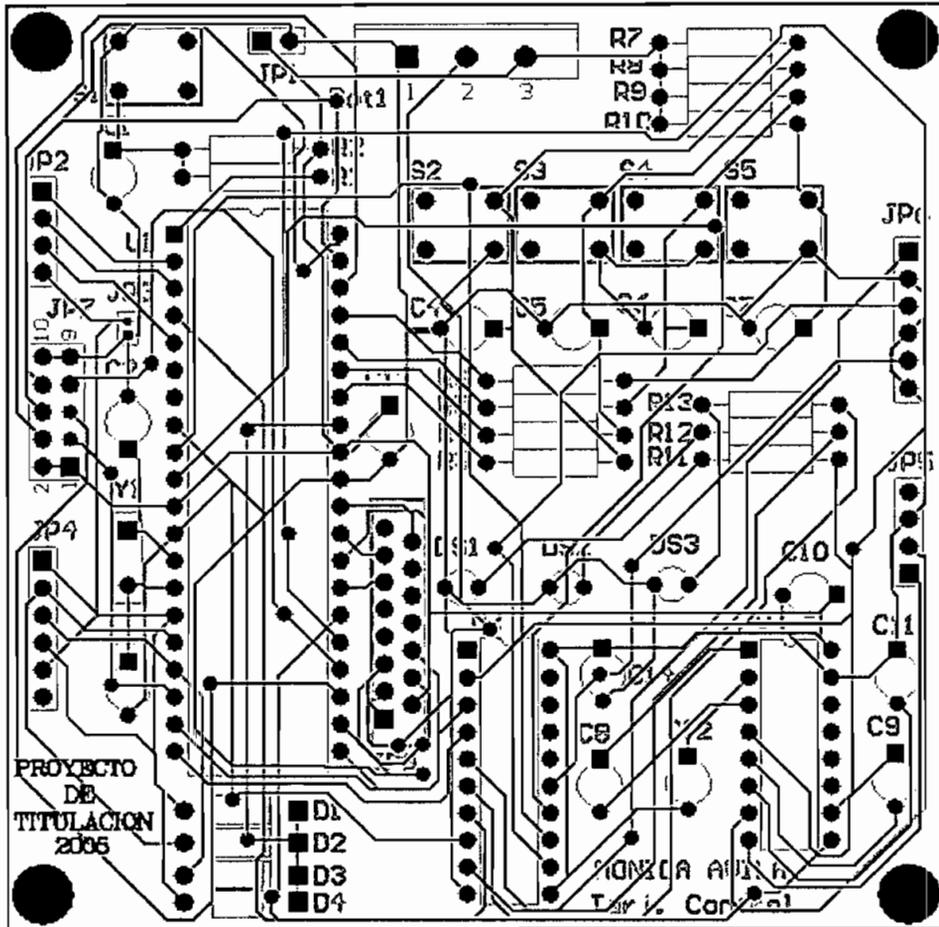


Figura D.3 Ruteado Tarjeta Control

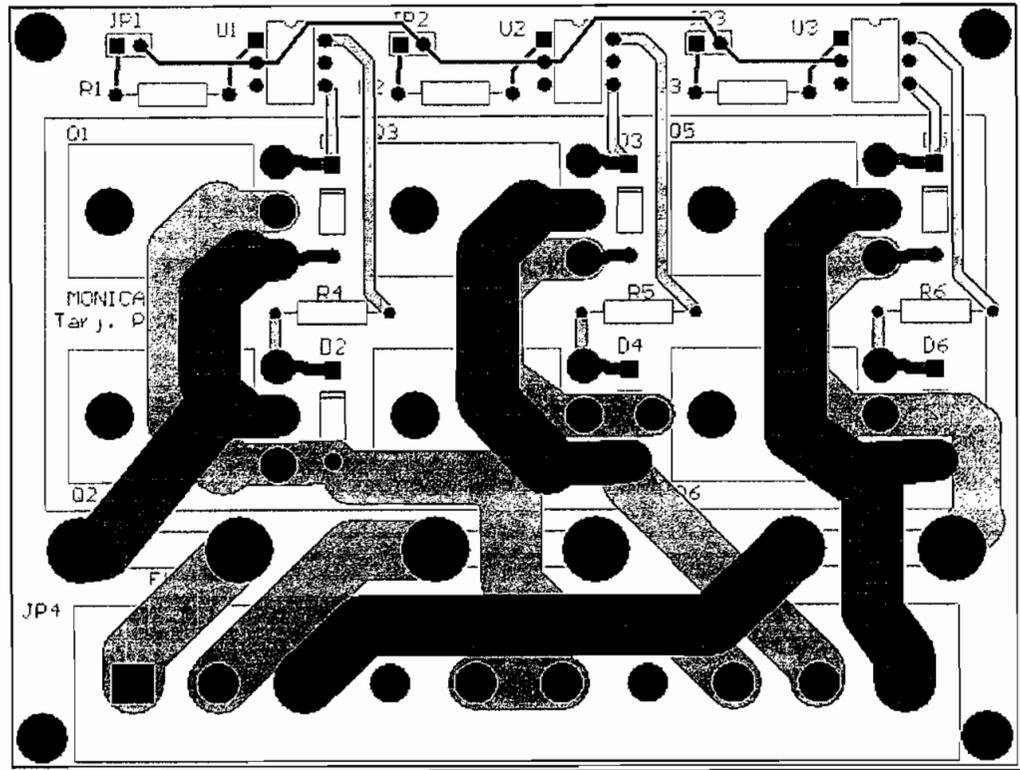


Figura D.4 Ruteado Tarjeta Potencia