

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

Camtronics S.A.

“Sistema de control y ajuste para un refrigerador de uso doméstico”

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el grado de
Bachiller en Ingeniería Electrónica.

Joel Muñoz Nicaragua

Cartago, Semestre 1- 2001

Resumen

El proyecto realizado, se ubica en el área de sistemas digitales, en este caso, aplicados al control temperatura para equipos de refrigeración domésticos.

El objetivo de este proyecto, implicó diseñar e implementar un sistema electrónico, que permita realizar el control de temperatura propio de un refrigerador, y evitar la operación de éste en condiciones no adecuadas. Además, registrar y visualizar los voltajes de alimentación aplicados al equipo, tanto actuales como anteriores a la suspensión del suministro de energía al mismo. Esto, se orienta a prevenir daños sufridos por estos equipos debidos al funcionamiento en condiciones no adecuadas, y a permitir a la empresa fabricante de los mismos, evaluar los voltajes de alimentación a los que se expone el refrigerador, y determinar, si estos cumplen con las especificaciones dadas por dicha empresa, para el funcionamiento adecuado de sus equipos.

El sistema desarrollado, se basa en el uso de microcontroladores y permite realizar el control de temperatura de las cámaras del refrigerador, proteger al mismo contra voltajes de alimentación no adecuados, variar los parámetros de operación del equipo, registrar y visualizar las temperaturas y voltajes de alimentación a los que está y ha estado expuesto el mismo.

Palabras claves: Microcontrolador, equipo de refrigeración, refrigerador, control de temperatura, sistemas digitales.

Abstract

The achieved project belongs to the digital systems area, in this case, applied to the temperature control of domestic refrigeration equipment.

The objective of the project implied to design and implement an electronic system to control the temperature of the space inside the refrigerator, and avoid the refrigerator works in inadequate conditions. Moreover, to register and visualize the feeding voltages supplied to the equipment, either currently or before the power supply was suspended. All this is done to prevent damages on the refrigerator caused by the operations on inadequate conditions, and to allow the manufacturer of the refrigerators, to evaluate the feeding voltages applied to the equipment, and decide, if they fulfil or do not fulfil the specifications given by this enterprise for the proper operations of these equipments.

The implemented system is based on microcontrollers and it is able to control the temperature, protects the equipment against inappropriate feeding voltages, adjusts the operations parameters, registers and visualizes the temperatures and feeding voltages, which the equipment is exposed and has been exposed to.

Keywords: Microcontroller, refrigeration equipment, refrigerator, temperature control, digital systems.

*A Dios,
a mi familia,
y a mis amigos,
gracias...*

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DE LA EMPRESA.....	3
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	6
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	7
3.1.1 <i>Calidad del suministro de energía eléctrica.....</i>	<i>7</i>
3.1.2 <i>Tiempo de retardo del compresor.....</i>	<i>8</i>
3.1.3 <i>Ineficiencia en la operación del refrigerador.....</i>	<i>9</i>
3.1.4 <i>Variación de parámetros en campo de los equipos.....</i>	<i>9</i>
3.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	10
4. MARCO TEÓRICO	11
4.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN REFRIGERADOR DE USO DOMÉSTICO	12
5. SOLUCIÓN PROPUESTA	15
5.1 MÓDULO DE CONTROL	17
5.1.1 <i>Descripción general de funciones.....</i>	<i>17</i>
5.1.2 <i>Descripción de hardware</i>	<i>21</i>
5.1.3 <i>Descripción de software</i>	<i>32</i>
5.2 MÓDULO DE DIAGNÓSTICO	51
5.2.1 <i>Descripción general de funciones.....</i>	<i>51</i>
5.2.2 <i>Descripción de hardware</i>	<i>53</i>
5.2.3 <i>Descripción de software</i>	<i>59</i>
5.3 ESPECIFICACIONES	77
5.3.1 <i>Módulo de control</i>	<i>77</i>
5.3.2 <i>Módulo de diagnóstico</i>	<i>78</i>
6. OBJETIVOS.....	79
6.1 OBJETIVO GENERAL	80
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	81
6.2.1 <i>Módulo de control</i>	<i>81</i>
6.2.2 <i>Módulo de diagnóstico</i>	<i>82</i>

7. METODOLOGÍA	84
7.1 DESARROLLO DEL HARDWARE MÓDULO DE CONTROL	85
7.1.1 <i>Análisis de diseños anteriores</i>	85
7.1.2 <i>Realizar el diseño de las etapas requeridas</i>	85
7.1.3 <i>Selección de componentes</i>	85
7.1.4 <i>Elaboración del prototipo</i>	86
7.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MÓDULO DE CONTROL	86
7.2.1 <i>Desarrollo de las rutinas para las funciones del módulo</i>	86
7.2.2 <i>Verificar la funcionabilidad del software y hardware del módulo de control</i>	87
7.3 DESARROLLO DEL HARDWARE DEL MÓDULO DE DIAGNÓSTICO	88
7.3.1 <i>Diseño de las etapas requeridas</i>	88
7.3.2 <i>Selección de componentes</i>	88
7.3.3 <i>Elaboración del prototipo</i>	89
7.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MÓDULO DE CONTROL	89
7.4.1 <i>Desarrollo de rutinas de interfaz con el usuario</i>	89
7.4.2 <i>Desarrollo de rutinas de interfaz con el módulo de control</i>	90
7.5 VERIFICACIÓN DE LA ADECUADA FUNCIÓN CONJUNTA DE AMBOS MÓDULOS	90
8. CRONOGRAMA	91
9. BIBLIOGRAFÍA	96
APÉNDICE A. HOJA DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO	98
ANEXO A. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MICROCONTROLADOR Y DEL MODO MONITOR DEL MISMO.	101

Índice de Figuras

FIGURA 4.1 CICLO DE ENFRIAMIENTO DEL REFRIGERADOR.....	13
FIGURA 4.2 CICLO DE ABSORCIÓN Y LIBERACIÓN DE CALOR DEL FLUJO REFRIGERANTE.....	14
FIGURA 5.1 DIAGRAMA GENERAL DE CONEXIÓN DE AMBOS MÓDULOS.....	16
FIGURA 5.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS OBTENIDAS DEL ARREGLO UTILIZADO PARA EL SENSADO DE TEMPERATURA. A)TEMPERATURAS DE 1 A 10 °C B)TEMPERATURAS DE -17 A 0°C.....	25
FIGURA 5.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MÓDULO DE CONTROL.....	26
FIGURA 5.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO DE CONTROL. A)ALIMENTACIÓN B) RELAYS C)MCU.....	28
FIGURA 5.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO DE CONTROL (CONTINUACIÓN) A)ALIMENTACIÓN B) RELAYS C)MCU.....	29
FIGURA 5.5 SEÑAL PARA EL SENSADO DE VOLTAJE DE LÍNEA.....	30
FIGURA 5.6 DIAGRAMA DE OPERACIÓN GENERAL DEL SOFTWARE DEL MÓDULO DE CONTROL.....	34
FIGURA 5.7 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DE LA RUTINA LÍNEA.....	37
FIGURA 5.8 DIAGRAMA DE FLUJO PARA SEÑAL CRECIENTE EN LA RUTINA LÍNEA.....	38
FIGURA 5.9 DIAGRAMA DE FLUJO PARA SEÑAL DECRECIENTE EN LA RUTINA LÍNEA.....	39
FIGURA 5.10 SUBRUTINA PARA EL REGISTRO DEL VOLTAJE PICO EN LA COLA DE MEMORIA.....	40
FIGURA 5.11 SUBRUTINA PARA EL REGISTRO DE LOS VOLTAJES DE ALIMENTACIÓN MÁS ALTOS.....	41
FIGURA 5.12 BLOQUES DE MEMORIA EEPROM Y SU IDENTIFICADOR.....	43
FIGURA 5.13 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LAS RUTINA DE MONITOREO DE TEMPERATURA.....	47
FIGURA 5.14 DIAGRAMA DE LA OPERACIÓN DEL LED PARA CADA ESTADO.....	50
FIGURA 5.15 DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MÓDULO DE DIAGNÓSTICO.....	53
FIGURA 5.16 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO DE DIAGNÓSTICO. A)ALIMENTACIÓN B) INTERFAZ CON EL MÓDULO DE CONTROL.....	55
FIGURA 5.16 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL MÓDULO DE DIAGNÓSTICO (CONTINUACIÓN). C) MCU E INTERFAZ CON EL USUARIO.....	56

FIGURA 5.17 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA DE TRASMISIÓN SERIAL.	62
FIGURA 5.18 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA LEER UN BLOQUE DE DATOS.	65
FIGURA 5.19 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA RUTINA PARA ESCRIBIR UN BLOQUE DE DATOS.	66
FIGURA 5.20 ALMACENAMIENTO DE LOS REGISTROS EN LA PILA DURANTE LA ATENCIÓN DE UNA INTERRUPCIÓN.	68
FIGURA 5.21 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA RUTINA PARA DESCARGAR Y EJECUTAR UNA RUTINA.....	69
FIGURA 5.22 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DE LA RUTINA ENCARGADA DE LEER LOS VALORES DE LAS VARIABLES REGISTRADAS EN EL MICROCONTROLADOR DEL MÓDULO DE CONTROL ANTES DEL ÚLTIMO CORTE DE ALIMENTACIÓN.....	71
FIGURA 5.23 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL PARA LA VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN.	74
FIGURA 5.24 ESQUEMA DE MENÚES DEL MÓDULO DE DIAGNÓSTICO.....	76
FIGURA 8.1 GRÁFICA DE GANT	94
FIGURA 8.2 GRÁFICA DE PERT	95

Índice de Tablas

TABLA 5.1 RANGOS DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL EQUIPO REFRIGERADOR.....	17
TABLA 5.2 RANGO DE VALORES DE VOLTAJE DE OPERACIÓN DEL EQUIPO REFRIGERADOR.	19
TABLA 5.3 BANDERAS EMPLEADAS EN EL SOFTWARE DEL MÓDULO DE CONTROL.	33
TABLA 5.4 BANDERAS EVALUADAS PARA ACTIVAR EL COMPRESOR Y EL ESTADO DE LAS MISMAS.	48
TABLA 5.5 DESCRIPCIÓN DE ESTADOS PARA LA OPERACIÓN DEL LED.....	50
TABLA 5.6 DESCRIPCIÓN DE LAS SEÑALES DE CONTROL DEL LCD.....	57
TABLA 5.7 DESCRIPCIÓN DE LAS FUNCIONES ASIGNADAS A CADA PULSADOR.....	58
TABLA 5.8 DESCRIPCIÓN DE LOS COMANDOS DEL MODO MONITOR DE LA FAMILIA DE MICROCONTROLADORES HC08 DE MOTOROLA.	60
TABLA 8.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.	93

1. INTRODUCCIÓN

Como proyecto de graduación se realizó un sistema de control y ajuste para un refrigerador de uso doméstico. Los problemas hacia los que se orientó el mismo, incluyen, la operación del equipo en situaciones en las cuales el funcionamiento resulta ineficiente, protección contra daños sufridos por el equipo debido a la calidad e inestabilidad en el voltaje de alimentación y los gastos que la empresa cliente debe asumir por los mismos.

El sistema desarrollado realiza las funciones de monitoreo y control de la temperatura de las cámaras del refrigerador, así mismo, realiza un monitoreo del voltaje de alimentación, detecta voltajes fuera del rango de operación definido para el equipo, y desconecta el mismo ante tales situaciones. Además de lo anterior, registra los voltajes de alimentación a los que ha estado expuesto el equipo antes de la suspensión de la energía eléctrica y alerta al usuario de problemas en la operación del mismo.

También, el sistema permite realizar ajuste a los parámetros de operación referentes a los valores límites de los rangos de temperatura y de voltaje de alimentación. El sistema permite la visualización de estos rangos y de los valores de temperatura y voltaje de línea actuales y los registrados antes del corte de alimentación en el equipo. Para la implementación del proyecto, se trabajó con microcontroladores Motorola, 68HC908JK3.

2. DEFINICIÓN DE LA EMPRESA

El proyecto de graduación se realizó para la empresa Camtronics S.A., en las instalaciones de la misma, ubicadas en el parque industrial de Cartago.

La actividad principal de esta empresa, la constituyen los procesos de manufactura por contrato, principalmente de componentes electrónicos. Dentro de la empresa, existe un departamento llamado R y D (research and development), dentro del cual se realizan e implementan, desde hace cierto tiempo, diseños para aplicaciones y clientes definidos. Algunos de estos diseños, incluyen dentro de su implementación, el uso de microcontroladores. También, se realizan en este departamento, labores de soporte técnico o diagnóstico, en productos vendidos por la empresa, o en otros que no lo son, a los que por contrato la empresa Camtronics S.A. brinda dicho servicio.

El proyecto de graduación se realizó en el departamento antes mencionado. El asesor en la empresa del proyecto de graduación, es el ingeniero Enrique Ortiz. Este ingeniero es el gerente general de la empresa.

La empresa Camtronics S.A. realizó este proyecto para una empresa extranjera dedicada a la producción de equipos de refrigeración. Por disposición de Camtronics S.A., no se suministra el nombre de la misma, se hace referencia a ésta, a lo largo de este documento, como la empresa cliente, siendo Camtronics S.A. la empresa ejecutora del proyecto. El proyecto de graduación, se realizó para un modelo de refrigerador específico de la empresa cliente, este modelo corresponde al modelo económico, el cual es el de mayor volumen de ventas de ésta empresa.

La empresa ejecutora ha suministrado al estudiante el espacio de trabajo, así como el equipo de medición y computacional, el software para programación de microcontroladores y los sistemas de desarrollo para los mismos, software para el desarrollo de esquemáticos y tarjetas de circuitos impresos. Para la elaboración de los circuitos impresos la empresa cuenta con el equipo adecuado para tal fin.

Así también, para las pruebas de los diseños realizados, se ha contado con equipos prestados por las empresas clientes.

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las refrigeradoras que actualmente vende la empresa cliente, realizan el control de temperatura de las distintas cámaras mediante dispositivos analógicos, el control empleado es de tipo electromecánico. Este tipo de controles presenta limitaciones en la operación de los equipos, que no permiten evitar la ineficiencia en la operación de éstos ó la operación de los mismos en condiciones no adecuadas.

La ineficiencia mencionada, implica consumo excesivo de potencia y operación excesiva o innecesaria. Estas situaciones se originan ya sea por las limitantes de los controles empleados o por un manejo inadecuado por parte de los usuarios de los equipos.

Los problemas y limitaciones que actualmente tiene la empresa cliente en los equipos producidos, así como los efectos que estos conllevan, incluyen los siguientes puntos.

3.1.1 Calidad del suministro de energía eléctrica

El sistema de distribución de energía en el país de la empresa cliente, es relativamente de baja calidad, en lo referente a la estabilidad del voltaje de línea en las zonas residenciales e industriales. Esto se refleja en la frecuencia con que se presentan picos, o “bajonazos” en el voltaje de alimentación. Los refrigeradores vendidos en este país, consecuentemente se ven expuestos a estas fallas o deficiencias de la red eléctrica, lo que lleva al deterioro de dichos equipos e incluso la destrucción o deshabilitación permanente de los mismos.

Actualmente la empresa cliente, cubre con garantía los desperfectos que se presentan en los refrigeradores debido a los problemas del voltaje de alimentación, lo cual genera gastos y pérdidas considerables. Dicha empresa, requiere que sus equipos puedan ser protegidos ante tales fallas, mediante una desconexión del sistema de la red de alimentación, al presentarse una de estas situaciones. Esto no es posible con los controles empleados actualmente en los equipos.

Además de esta protección, es importante para la empresa cliente tener un registro de los voltajes a los cuales estuvo expuesto el refrigerador, antes de que se produjese una desconexión definitiva o un fallo permanente en este. Esto con el fin de poder determinar si la empresa está en responsabilidad de cubrir con garantía este problema, o si está libre de dicha responsabilidad, al determinarse que el equipo estuvo expuesto a voltajes fuera del rango para el cual la empresa garantiza la operación de sus productos. Este intervalo se define de 103 V a 127 V RMS de la línea de alimentación AC, monofásica, residencial.

3.1.2 Tiempo de retardo del compresor

Existe una consideración que debe asegurarse en la operación de los refrigeradores. Esta es, que el compresor de los mismos, debe tener un período de “descanso” de 4 minutos, entre cada ciclo de trabajo con el fin de permitir que el gas refrigerante utilizado se estabilice y disminuya la presión del mismo. El tiempo de espera mencionado no se garantiza en los equipos con control electromecánico. Si no se deja que la presión del gas refrigerante disminuya, el compresor sufre daños que ocasionan deterioro del mismo y su destrucción.

El deterioro del refrigerador debido a los dos aspectos anteriores, reduce el tiempo de vida útil del mismo, afectando la imagen y la calidad apreciada de estos productos.

3.1.3 Ineficiencia en la operación del refrigerador.

Existen situaciones que llevarán al refrigerador a un funcionamiento ineficiente e innecesario, las cuales son responsabilidad del usuario. Estas situaciones se presentan cuando el usuario del mismo, deja la puerta del refrigerador abierta por un tiempo prolongado o excesivo, o bien mal cerrada. Esto llevará a un aumento de temperatura en las cámaras del refrigerador, lo cual hace que el compresor se encienda con el fin de contrarrestar este incremento de calor y mantener las temperaturas de operación establecidas. Lo anterior afecta la eficiencia en la operación del refrigerador y lo llevan a un mayor consumo de potencia, además de reducir el tiempo de vida útil del compresor al estar encendido permanentemente. Actualmente, no es posible prevenir este funcionamiento innecesario en las situaciones descritas, ni es posible advertir de dichas situaciones al usuario.

3.1.4 Variación de parámetros en campo de los equipos.

La empresa cliente, actualmente no realiza el diagnóstico de sus productos en campo, es decir, estos deben ser llevados a sus talleres o centros de reparación. Dicha empresa pretende poder evaluar el funcionamiento actual y realizar las pruebas de diagnóstico del refrigerador en campo, y así poder determinar si se requiere realizar un servicio de mantenimiento sobre el mismo. Igualmente la empresa cliente, desea realizar la modificación o ajuste de los parámetros de operación para el refrigerador en lo referente a las variables de temperatura y voltaje de alimentación.

3.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El control electrónico de las temperaturas para un refrigerador de uso doméstico, originalmente se había planteado y negociado con otra empresa de refrigeradoras, sin embargo debido a desacuerdos entre dicha empresa y Camtronics S.A., este proyecto no se pudo culminar.

Posteriormente se planteó este proyecto hacia la empresa cliente actual, con la cual se trazaron las nuevas especificaciones y las funciones del proyecto.

El módulo de control, que se implementó con este proyecto, no se había realizado anteriormente. Sin embargo, la empresa Camtronics ha realizado diversos proyectos en lo referente al área de refrigeración, orientados al control y monitoreo de temperatura.

Anteriormente, este proyecto se trabajó también por una empresa colombiana en lo referente a la etapa de control, esta empresa presentó un prototipo que realizaba las funciones deseadas por la empresa cliente, con un costo relativamente bajo. Sin embargo, este proyecto no se culminó, pero a pesar de esto, dado el costo inferior del mismo, fijó el estándar para el parámetro de costo a un nivel menor del que se había trazado.

En lo que respecta a la etapa de diagnóstico y programación es la primera vez que se planteó y surge como una solución para evitar los desacuerdos que se presentaron con la primera empresa de refrigeración y permitir realizar el ajuste de los rangos de operación del refrigerador, con una interfaz tan sencilla como sea posible.

La empresa cliente ha detectado los problemas anteriormente expuestos en la sección 3.1, a través del tiempo y de sus experiencias con sus clientes, así como con los problemas que los equipos han presentado originados por funcionamientos no adecuados, debidos a las situaciones ya mencionadas.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN REFRIGERADOR DE USO DOMÉSTICO

Un refrigerador como el que se utiliza en este proyecto, consta principalmente de 4 partes, a saber: El compresor, el evaporador, el condensador y el sistema de tuberías a través de las cuales fluye el refrigerante.

El proceso de refrigeración se ilustra en la figura 4.1. Los objetos colocados dentro del refrigerador transfieren calor al aire circundante en las cámaras de éste. El aire calentado, intercambia el calor absorbido con el fluido refrigerante en las superficies frías del equipo. Estas superficies frías corresponden al área del evaporador, que se encuentra en la parte superior, en el interior del refrigerador. El proceso se realiza por convección, es decir, el aire fluye en forma natural, de las zonas con mayor temperatura hacia el evaporador (zona de menor temperatura). Al enfriarse el aire desciende, mientras que el aire caliente continúa fluyendo hacia las zonas frías, como se muestra en la figura 4.1.

Cuando el refrigerador inicia su funcionamiento, el compresor inyecta refrigerante al condensador del refrigerador. Al final del condensador, se encuentra una tubería de diámetro reducido la cual presenta una resistencia al flujo de refrigerante, formándose con esto una zona de alta presión, en la cual dicha sustancia se condensa.

En el evaporador, el refrigerante retorna al estado gaseoso, debido a la baja presión que se presenta. Un extremo del evaporador se conecta al condensador y el otro se conecta con el compresor, el cual, toma refrigerante del evaporador para bombearlo hacia el condensador. La cantidad de este fluido extraída del evaporador es mayor a la cantidad que ingresa al mismo desde el condensador, por lo que se origina en el primero una presión menor, permitiendo la evaporación del refrigerante dentro del mismo.

El refrigerante absorbe calor al evaporarse, y libera calor al condensarse, es este hecho lo que permite la extracción de calor del interior del refrigerador por medio del evaporador y la liberación de este calor al exterior del refrigerador en el condensador del mismo. El condensador se identifica como la parrilla negra que se ubica en la parte posterior de los refrigeradores de uso doméstico, la cual actúa como un disipador del calor liberado en el condensador.

El proceso descrito se ilustra en la figura 4.2, en la cual se muestra el flujo del refrigerante, en gris una vez que ha absorbido calor y en blanco cuando lo ha liberado.

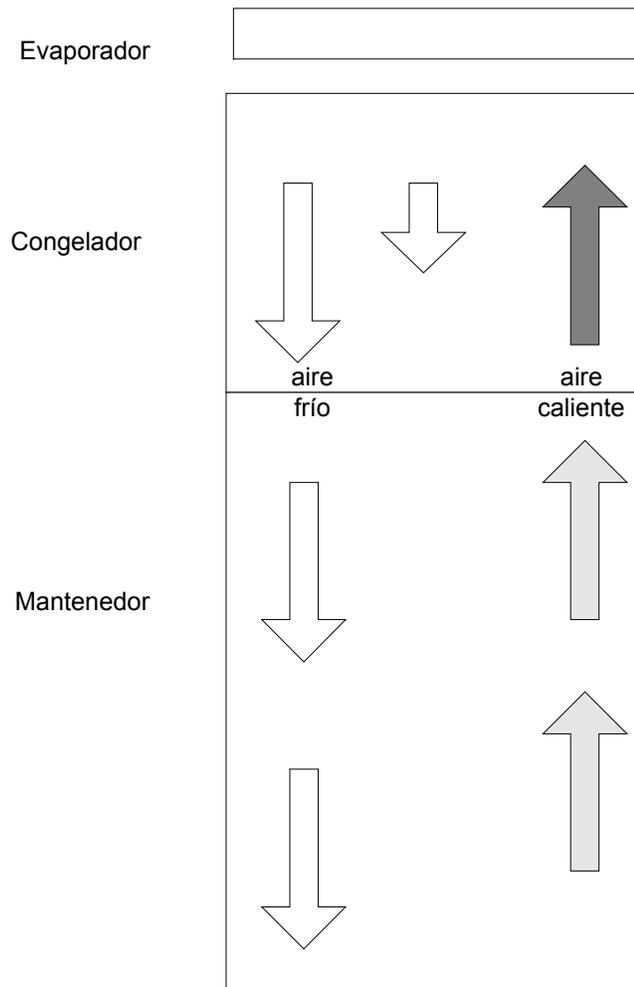


Figura 4.1 Ciclo de enfriamiento del refrigerador.

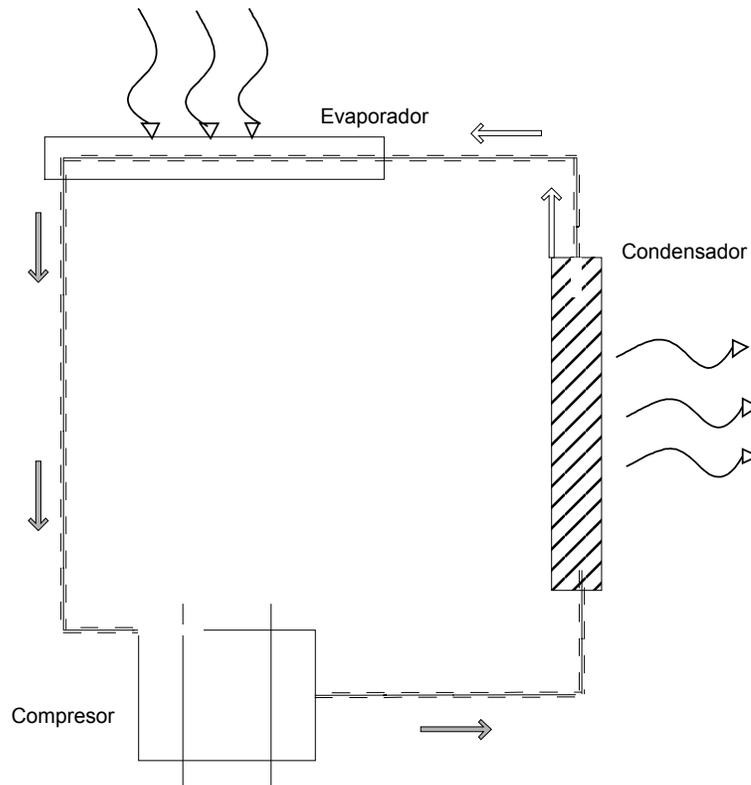


Figura 4.2 Ciclo de absorción y liberación de calor del flujo refrigerante.

5. SOLUCIÓN PROPUESTA

Para la solución de los problemas ya expuestos, se implementaron dos módulos, cada uno con funciones definidas, ambos basados en un microcontrolador Motorola.

El primer módulo se denominó como “módulo de control”, este realiza las funciones de control y monitoreo de las variables del equipo (temperatura, voltaje de alimentación, rangos de operación, tiempo).

El segundo módulo, realiza las funciones correspondientes a la variación de los parámetros y visualización de los datos almacenados en la memoria del microcontrolador del módulo de control. Se nombró a este como “módulo de diagnóstico”. Ambos módulos y sus funciones se describen a continuación. En la siguiente figura se presenta un diagrama de conexión entre ambos módulos.

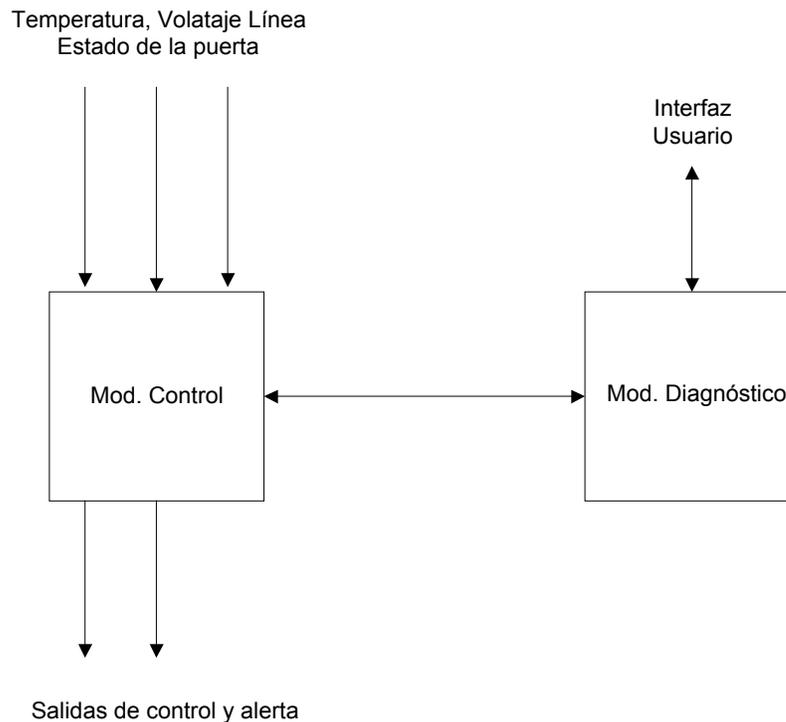


Figura 5.1 Diagrama general de conexión de ambos módulos.

5.1 MÓDULO DE CONTROL

5.1.1 Descripción general de funciones

Para la implementación del este módulo, se utiliza un microcontrolador Motorola MC68HC908JK3, por contar con facilidades de convertidores analógico-digital para realizar el monitoreo del voltaje de alimentación y de las temperaturas dentro del refrigerador.

5.1.1.1 Monitoreo de la temperatura

Este módulo realiza el monitoreo y control de las temperaturas de las cámaras del refrigerador. Para el monitoreo de las temperaturas se emplean termistores NTC (coeficiente negativo de temperatura). La fijación de los rangos de temperaturas de operación por parte del usuario se realiza por medio de un potenciómetro que permite definir tres intervalos posibles de operación. Estos rangos son especificados por la empresa cliente bajo condiciones de vacío (sin carga térmica), a una temperatura ambiente externa de 22°C mínima y 32°C máxima, con puerta cerrada, y después de 24 horas de operación, los mismos se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Rangos de temperatura de operación del equipo refrigerador

Rango	Cámara		Congelador	
	Temp. Máxima (°C)	Temp. mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)	Temp. mínima (°C)
Mínimo	9	7	-1	-4
Medio	6	4	-5	-8
Máximo	3	1	-9	-13

El módulo monitorea la temperatura en ambas cámaras a intervalos de 4 segundos. Se toman 8 muestras seguidas a través de los convertidores analógico – digital y se calcula el valor promedio de estas muestras. Este valor se utiliza para determinar si es necesario activar o no el compresor. Además, el módulo es capaz de realizar un registro de las dos últimas temperaturas que se presentaron en ambas cámaras, para que en caso de fallo, pueda reportar estos datos en la etapa de variación y visualización de parámetros.

También se analiza la tendencia de la temperatura y determina si esta es decreciente o no.

El equipo refrigerador, cuenta con dos cámaras. Cada vez que alguna de las dos cámaras se encuentre por encima del límite superior definido para ella, se inicia el proceso de enfriamiento. Cuando la temperatura en ambas cámaras, sea menor al límite inferior especificado, el compresor debe desactivarse.

5.1.1.2 Monitoreo del estado de la puerta

Cuando la puerta se encuentra abierta por un tiempo excesivo, o es cerrada en forma errónea, el módulo alerta al usuario de esto mediante una alarma visual. En caso de que la puerta esté abierta por más de dos minutos, el compresor se desactiva.

El estado de la puerta se revisa por medio del interruptor del cual cuentan los refrigeradores actualmente, colocado en la parte frontal de los mismos, el cual se encarga de controlar la luz interna de la cámara del refrigerador.

5.1.1.3 Monitoreo de la línea de alimentación

Es función del módulo de control, realizar un monitoreo de la línea de alimentación para detectar un posible voltaje fuera del rango de operación, que pueda producir un daño al equipo. Si esto ocurriese, este módulo se encarga de desconectar el compresor o de no conectarlo si este estuviera desconectado. El rango de voltaje de alimentación permitido se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Rango de valores de voltaje de operación del equipo refrigerador.

Voltaje máximo (V_{RMS})	Voltaje mínimo (V_{RMS})
127	103

Para fines de diagnóstico se almacenan los valores de voltaje a los cuales estuvo expuesto el equipo. Se almacenan los 4 voltajes más altos a los que el equipo ha estado expuesto durante toda su operación, así como los últimos 7 voltajes anteriores a la desconexión del suministro de energía eléctrica.

El sensado de la línea de 110 V AC, se realiza en forma indirecta. Dado que el módulo de control toma su alimentación de esta línea, es requerido reducir este nivel de voltaje y luego rectificarlo para poder obtener un voltaje CD adecuado para los componentes digitales del mismo. Se utiliza los niveles de voltaje reducidos para realizar el sensado (esto se detalla más en la descripción de hardware de éste módulo).

5.1.1.4 Control del compresor

El módulo acá descrito, evalúa las condiciones asociadas a cada variable para activar o desactivar el compresor. El compresor se activa se activa bajo las siguientes condiciones:

- No hay un problema en el estado de la puerta.
- El voltaje de alimentación se encuentra dentro del intervalo permitido.
- El compresor tiene más de 4 minutos en reposo (no activo).
- La temperatura de alguna de las dos cámaras así lo amerite.

El compresor se desactiva al no cumplirse alguna de las condiciones anteriores. Al desactivarse el compresor, sea cual sea la causa, se garantiza un tiempo de espera de 4 minutos antes de que se encienda de nuevo.

5.1.1.5 Interfaz de comunicación

Además de todas las funciones de control y monitoreo, el módulo de control posee una interfaz con el módulo de diagnóstico para la realización de las rutinas de variación y visualización de parámetros.

5.1.2 Descripción de hardware

El hardware involucrado, comprende componentes varios de uso común. Los principales elementos del hardware son el microcontrolador, los relays y los termistores para el sensado de las temperaturas.

- **Microcontrolador**

El microcontrolador, empleado en ambos módulos es el 68HC908JK3, de Motorola. Éste es de 8 bits, cuenta con 20 pines, de los cuales se pueden utilizar un máximo de 14 como pines configurables de entrada y salida. Cuenta con 10 canales para conversión analógica-digital, mas otros dos utilizados para verificación del ADC. Dos temporizadores, 4 kbytes de memoria flash-EEPROM y 128 bytes de memoria RAM, la cual se utiliza para el almacenamiento de variables y para las operaciones de pila. Además cuenta con 960 bytes de memoria ROM, la cual contiene el código del programa monitor.

- **Arquitectura y organización de la memoria del microcontrolador**

La arquitectura del microcontrolador, involucra 5 registros, estos son el acumulador (ACC) y el registro de códigos de condición (CCR) ambos de 8 bits, el puntero de pila y el puntero de programa, ambos de 16 bits, y un último registro, utilizado como apuntador de 16 bits, dividido en dos registros de 8 bits, H (parte alta) y X (parte baja), se hace referencia al registro de 16 bits como H:X.

Los 4 kbytes de memoria flash-EEPROM, se organizan en páginas de 64 bytes, compuestas por dos filas de 32 bytes. Para borrar esta memoria, se puede hacer en dos formas, borrar todos los 4096 bytes, o borrar una página únicamente. Este microcontrolador tiene rutinas programadas de fábrica que permiten realizar operaciones de escritura, lectura y borrado en la memoria FlashEEPROM.

Además de las rutinas para trabajar con memoria flashEEPROM, el MCU contiene rutinas para la recepción de datos en forma serial por un pin del microcontrolador, a una velocidad establecida, esta se obtiene al dividir la frecuencia del cristal empleado entre 1024.

- **Modos de operación del microcontrolador**

El microcontrolador presenta dos modos de operación, modo normal y modo monitor. El modo normal se ejecuta luego del reset, siempre y cuando el pin IRQ del microcontrolador, se encuentre a un voltaje inferior a 7 V, además, si el vector del reset, se encuentra inicializado, esto es, el contenido de memoria en las direcciones \$FFFE y \$FFFF, de la memoria del microcontrolador sean diferentes de \$FF.

Cuando el microcontrolador funciona en modo normal, se ejecuta el código ubicado en la dirección, definida por el vector de interrupción antes citado.

Para entrar al modo monitor, el voltaje aplicado al pin IRQ del microcontrolador, debe ser mayor a 7.5 V y menor a 8.5V. También se ingresa al modo monitor, cuando el vector de interrupción del reset contiene el valor \$FFFF.

Además, los pines B0, B1 deben ser conectados a 5 V mediante una resistencia de 10k Ω , el pin B2 debe conectarse a Vss (0 V), a través de una resistencia de 10 k Ω . El pin B3 define la frecuencia de operación del MCU durante el modo monitor, si este pin se conecta a V_{DD} por medio de una resistencia, la frecuencia será de ¼ del cristal utilizado, si el pin B3, se conecta a Vss, la frecuencia de operación será la mitad de la frecuencia del cristal.

En el modo monitor, se ejecuta el código programado de fábrica en el microcontrolador luego del reset. Este código se encuentra en memoria ROM.

Los comandos del modo monitor, permite realizar la lectura y escritura de localidades de memoria RAM, los registros de control y estado del microcontrolador, así como la lectura del puntero de pila. Es posible, en este modo, descargar rutinas temporales en RAM, que permitan ejecutar una función particular.

- **Convertidores ADC y temporizadores**

Los convertidores ADC del microcontrolador, presentan una resolución de 8 bits, con un valor de escala máxima igual al voltaje de alimentación del MCU. Si el voltaje de alimentación del microcontrolador es de 5 V, entonces el ADC presenta una precisión de 20 mV.

El microcontrolador cuenta con 12 canales para conversión ADC, dos de ellos son utilizados para verificación del funcionamiento del ADC, estos se conectan internamente a 5V y a la referencia (Vss ó 0V). Los restantes 10 canales, se asocian con los pines de los puertos del MCU, y cada uno se puede asociar con una entrada analógica definida. El fabricante, define que el voltaje aplicado a los pines del microcontrolador, utilizados como entradas del ADC, por razones de protección, no debe ser menor a 0 V, ni superior al voltaje de alimentación del chip.

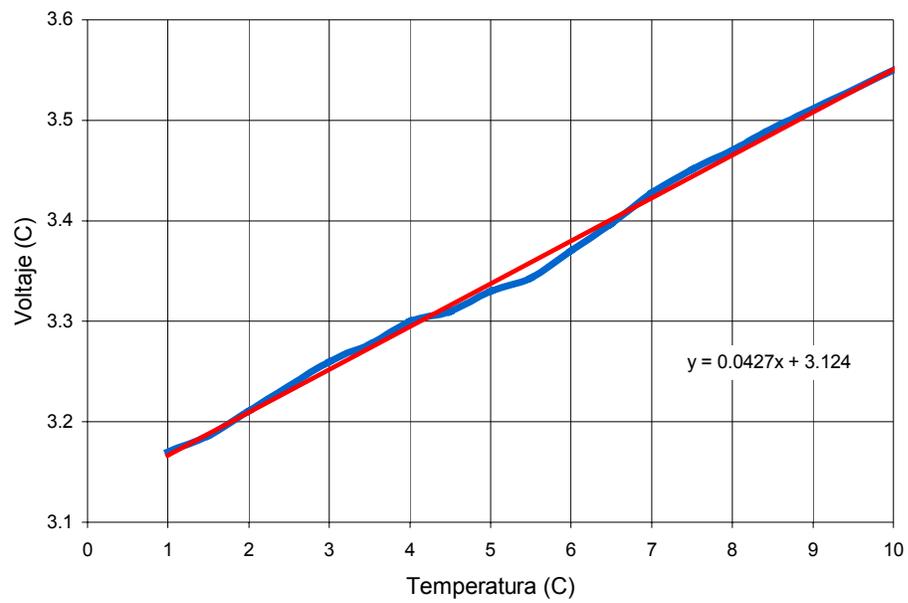
Los temporizadores del microcontrolador permiten obtener una interrupción cada cierto tiempo definido. La frecuencia de los mismos se obtiene a partir de la frecuencia de operación del bus interno del MCU, ya sea dividiendo esta entre 1, 2, 4, 16, 32, o 64. Permitiendo obtener solicitudes de interrupción a un intervalo dado, para poder definir en base a estos, un lapso de un segundo.

Para más información sobre estas y otras características, se remite a las hojas de datos técnicos del microcontrolador usado. En el Anexo A de este documento, se incluyen de los capítulos referentes a la descripción general del microcontrolador y a la descripción del modo monitor.

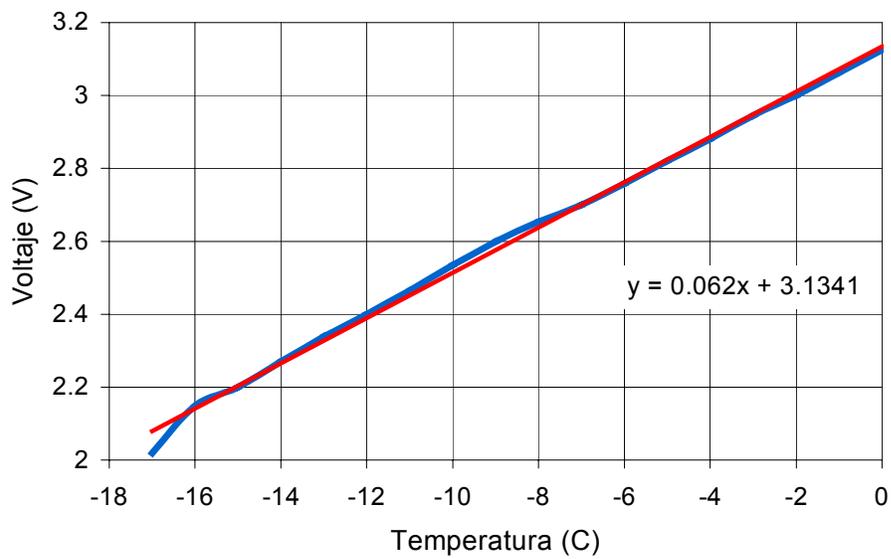
- **Termistores y relays**

Los termistores utilizados para sensor temperatura, son tipo NTC (coeficiente negativo de temperatura), se obtuvo la curva característica del arreglo empleado para sensor la temperatura. Esta se muestra en la figura 5.2.

Los relays utilizados emplean un voltaje de control de 12V DC, son manejados por transistores controlados por el microcontrolador. Los transistores se configuran como emisor común, con la carga (bobina del relay), conectada al colector.



a)



b)

Figura 5.2 Curvas características obtenidas del arreglo utilizado para el sentido de temperatura. a) Temperaturas de 1 a 10 °C b) Temperaturas de -17 a 0°C.

En la figura 5.3, se presenta un diagrama de bloques funcional del módulo de control. Los bloques de entrada de datos lo constituyen las partes de sensado del voltaje de línea, temperatura y del estado de la puerta. Las salidas del sistema la constituyen la alarma visual y los relays, que se encargan de manejar las cargas de corriente alterna: el compresor y la luz interna del refrigerador.

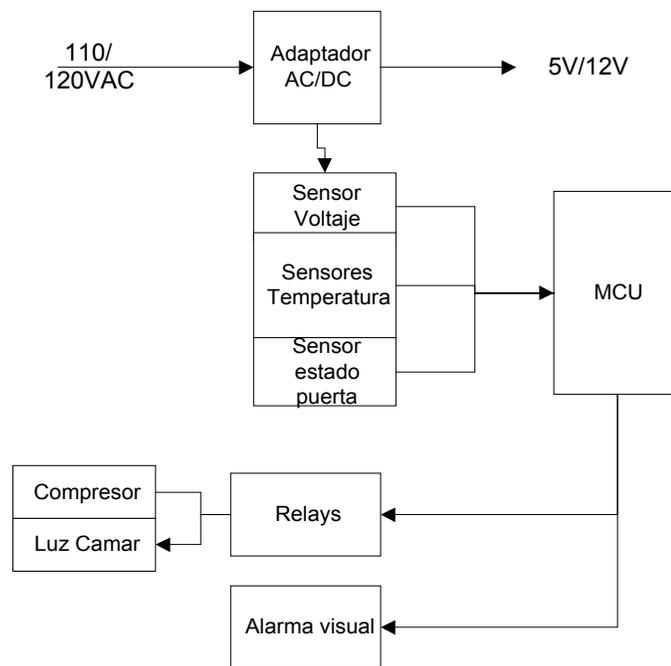


Figura 5.3 Diagrama de bloques del módulo de control.

En general, el microcontrolador se encarga de realizar el monitoreo y control de la temperatura, así como de monitorear el estado de la línea de alimentación principal (110 VAC), el estado de la puerta, y en base al valor de estas variables, controla el compresor, la luz de la cámara interior, y la alarma visual. Un detalle de las condiciones de las variables de entrada que llevan a la activación o desactivación de las salidas se da en la descripción de software para éste módulo.

El diagrama esquemático para este mismo módulo, se presenta en la figura 5.4, por cuestiones de orden y espacio, se presenta en tres partes, a saber: alimentación, relays y MCU y sensores.

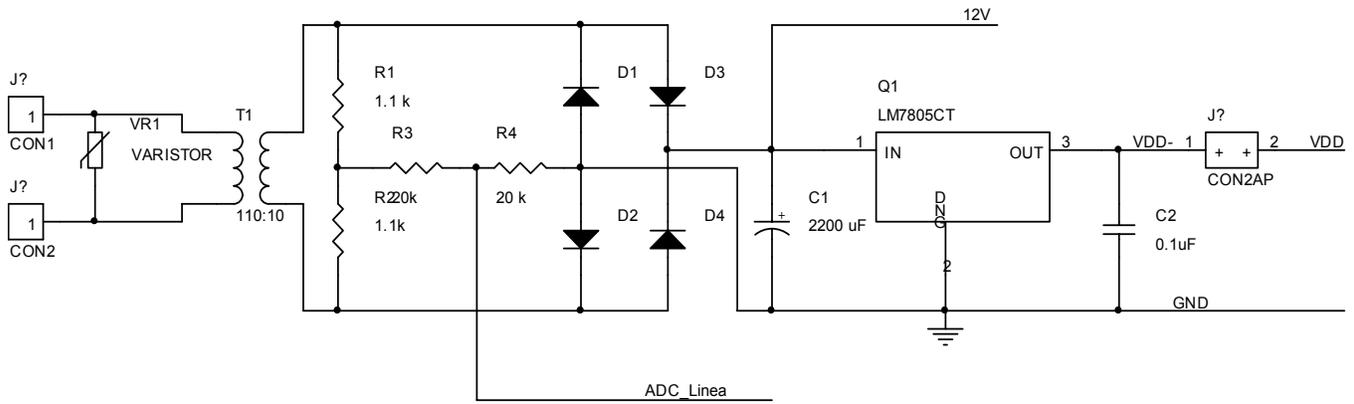
La etapa de alimentación (figura 5.4.a), consta de la entrada de 110 Vrms, la cual se conecta a CON1 y CON2. El voltaje de entrada se reduce, se rectifica y se alisa, obteniéndose los voltajes de tensión directa de 12V y 5 V requeridos para el funcionamiento de los componentes del módulo.

En esta etapa se incluye la configuración utilizada para el sensado del voltaje de línea. Este corresponde al divisor de tensión formado por las resistencias R1 a R4. La señal para la medición, se obtiene del nodo ubicado entre R3 y R4. La forma de onda obtenida en este punto, es rectificadas por lo que el microcontrolador no se expone a voltajes negativos. La forma de esta señal, se ilustra con una simulación en la figura 5.5.

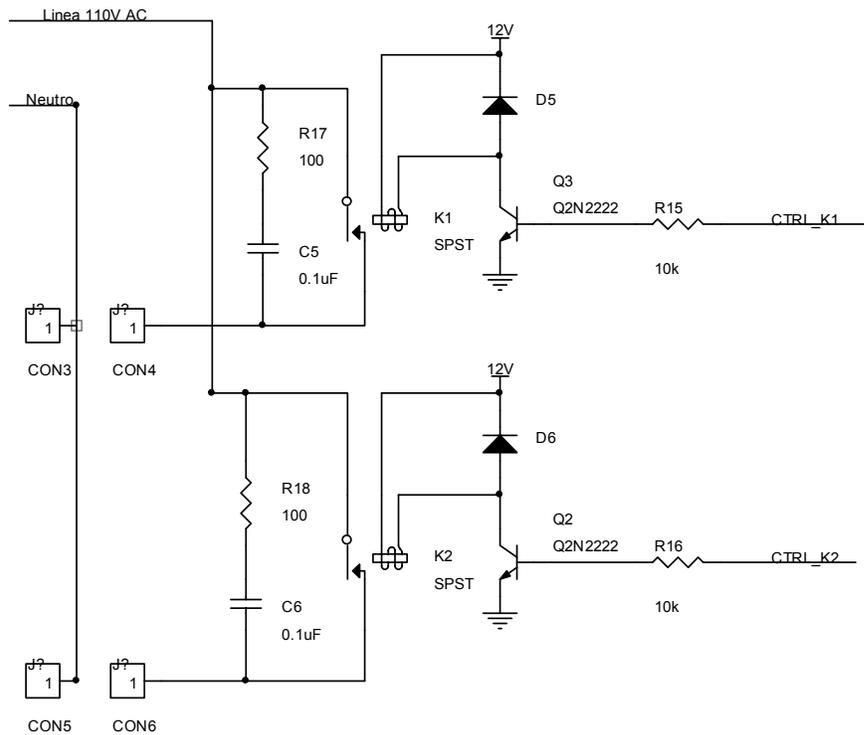
Al ser el voltaje en el secundario proporcional al existente en el primario, la amplitud de la señal mostrada en la figura 5.5 es proporcional al voltaje en el primario. La razón de proporción, entre las amplitudes de las señales es 40, para una relación de transformación de 10 en el transformador.

Los relays K1 y K2 se encargan de la conexión y desconexión de las cargas AC, que maneja el módulo, la principal de estas cargas, la constituye el compresor del equipo de refrigeración. Las cargas AC, se conectan entre los conectores 3-4 y 5-6. La otra carga AC, corresponde a la luz interna de la cámara principal del refrigerador.

Se utilizan los diodos D5 y D6, para evitar la aparición de voltajes inversos de gran amplitud, entre colector y emisor de los transistores Q3 y Q6, al desactivarse los relays. El propósito de los diodos, es evitar el corte abrupto en la corriente de la bobina del relay, ofreciendo un camino para la extinción de la misma.



a)



b)

Figura 5.4 Diagrama esquemático del módulo de control. a)Alimentación b) Relays c)MCU.

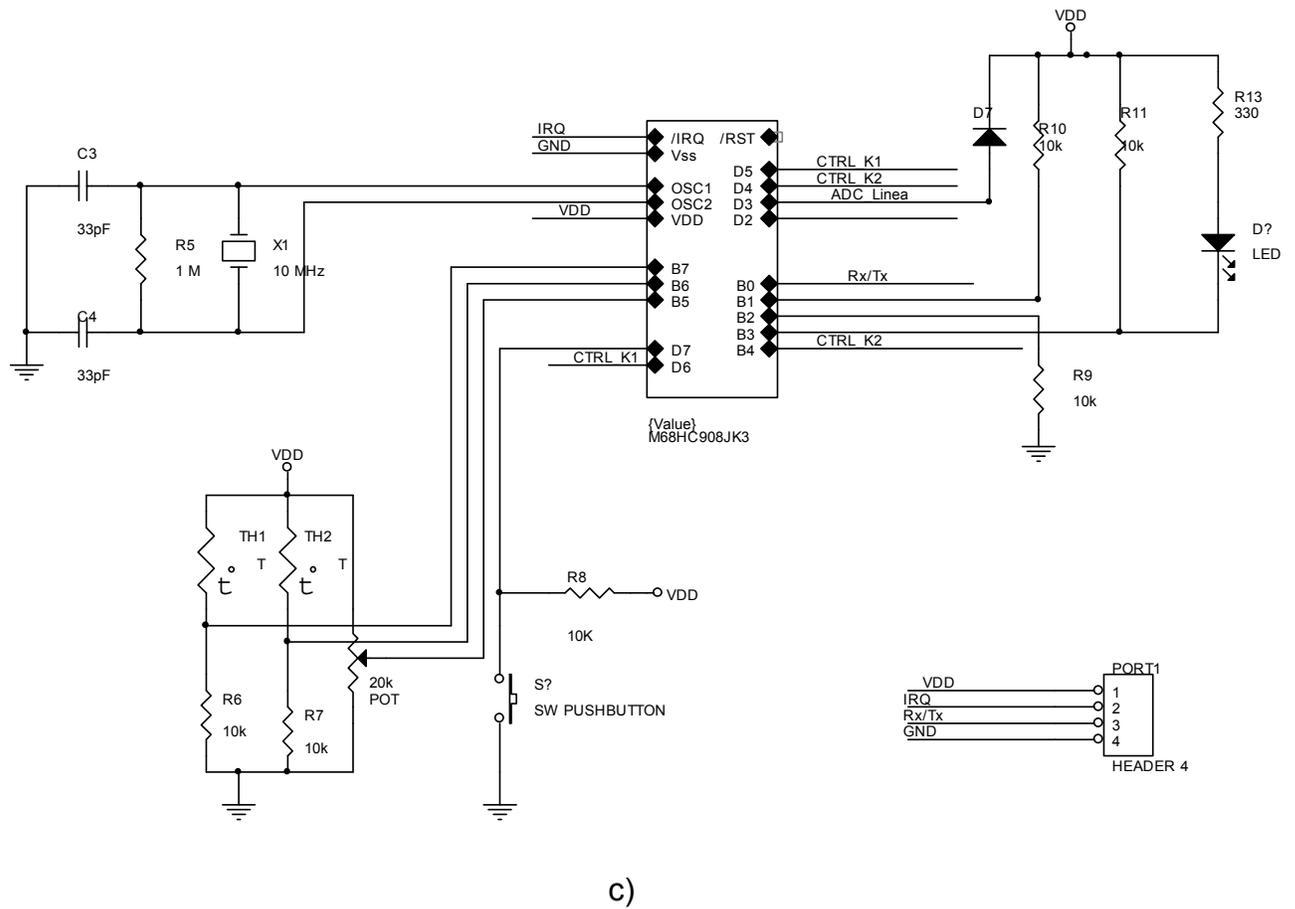


Figura 5.4 Diagrama esquemático del módulo de control (continuación) a)Alimentación b) Relays c)MCU.

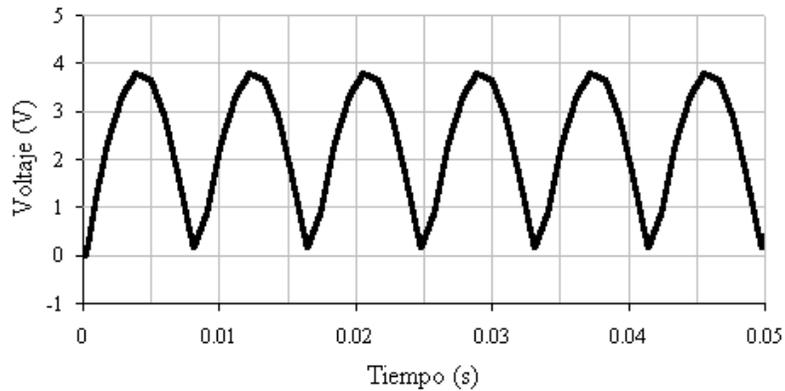


Figura 5.5 Señal para el sensado de voltaje de línea.

Similarmente se utilizan las ramas RC constituidas por R18-C6, R17-C5, las cuales fueron sugeridas por el ing. Gustavo Galeano¹. Estas ramas, evitan la aparición de voltajes excesivos entre los contactos de los relays al activarse o desactivarse los mismos, principalmente en el relay encargado de manejar el compresor, dada la característica principalmente inductiva de la carga. La resistencia en cada una de las ramas RC, evita la formación de un circuito oscilante, al disipar la energía que se intercambia entre la inductancia de la carga y el condensador.

El sensado de las temperaturas de las cámaras del equipo refrigerador, se realiza con los divisores de tensión formados por TH1-R6 y TH2-R7, el voltaje de estos divisores de tensión, se muestrea a través de los convertidores ADC, asociados con los pines del puerto B7 y B6. La curva de voltaje contra temperatura del arreglo termistor/resistencia, se muestra en la figura 5.2.

¹ El ing. G. Galeano, a la fecha de realización de este proyecto, suministra asistencia técnica y capacitación, como representante de la empresa Motorola.

El potenciómetro mostrado, permite la selección de uno de tres posibles rangos de temperatura posibles de operación del equipo, definidos por la empresa cliente.

El circuito para el oscilador del microcontrolador, constituido por los condensadores C3 y C4, R5 y el cristal X1, se tomó de la nota de aplicación 1831 de Motorola. Uno similar se incluye en las hojas de datos del microcontrolador empleado. En la figura 5.4.c, se muestra el MCU y las conexiones del mismo a los sensores, oscilador, así como, a las señales de control utilizadas para el manejo de los relays y a la señal de sensado de la línea. Las señales de control de lo relays se asocian con los pines D6 y B4.

Durante la etapa de variación de parámetros, el módulo de control se conecta al módulo de diagnóstico, a través del conector nombrado como "PORT1". En éste se incluyen las señales requeridas por este módulo para realizar la comunicación requerida durante esta etapa.

El led mostrado, se utiliza para visualizar el estado de operación del equipo refrigerador. El diodo D7, garantiza que el voltaje aplicado al pin D3 (medición de la línea AC) del microcontrolador, no sea mucho mayor a 5V.

5.1.3 Descripción de software

El software desarrollado para el módulo de control, permite realizar el monitoreo de las temperaturas de ambas cámaras, del voltaje de alimentación AC del equipo, el manejo del compresor, es decir las funciones propias de este módulo.

Se definieron tres rutinas básicas, para el monitoreo de las variables de entrada. Se utiliza una rutina para el manejo y control del compresor en base al estado de las banderas, una más para la programación en flash EEPROM de las variables, y una final para el control de la temporización y visualización requerida.

Las rutinas encargadas del monitoreo de las variables son independientes entre sí, cada una de ellas actúa sobre una o más banderas, las cuales se utilizan para reflejar el estado o condición de las variables. La rutina de manejo de compresor se encarga de evaluar las banderas que indican el estado de la puerta, temperatura, voltaje de línea, y en base a la condición que estas reflejen, se activa o desactiva el compresor. Las principales banderas definidas se describen en la tabla 5.3.

La rutina de temporización se maneja por interrupción, esto se hace configurando la interrupción de uno de los temporizadores, del microcontrolador empleado. Se ingresa a esta rutina cada 62,5 milisegundos. Al completarse un segundo, esta rutina, se encarga de incrementar, si es el caso, los contadores de tiempo asociados con la puerta, el compresor, y tiempo de muestreo de la temperatura.

También, es en esta rutina, donde se maneja la visualización externa de la operación del equipo refrigerador. Para ello se implementa una máquina de estado, cada uno con una duración de 125 ms.

Tabla 5.3 Banderas empleadas en el software del módulo de control.

Bandera	Descripción	Rutina que la controla
Compresor Encendido	Refleja el estado actual del compresor 1:compresor encendido 0:compresor apagado	Comp
Compresor en Espera	Indica si el compresor se ha apagado, no menos de 4 minutos atrás. 1: compresor en espera, 0: compresor se apagó hace más de 4 minutos	Comp
Fallo de línea	Indica que el voltaje de alimentación AC, se encuentra fuera de los rangos aceptables.	Línea
Comp/Temperatura	Activa en alto. Indica si el compresor se debe activar por temperatura. Se activa cuando la temperatura en una de las cámaras es mayor a la definida para ésta.	Temp
Fallo General	Son dos banderas activas en alto, que indican que la temperatura en las cámaras del refrigerador no ha variado, en un tiempo determinado, a pesar de estar el compresor encendido.	Temp
Fallo puerta	Indica que la puerta ha permanecido abierta por más de dos minutos.	Puerta

La rutina para la programación de la memoria flash EEPROM, permite guardar en esta memoria, los datos de temperaturas y voltajes registrados en el equipo. Para esta rutina se emplean las rutinas “On-Chip” con las que cuenta este microcontrolador. En la figura 5.6, se muestra un diagrama general de las rutinas de este módulo.

El microcontrolador empleado en este módulo, durante la etapa de variación y visualización de parámetros, se conecta al módulo de diagnóstico, y recibe de este último comandos en forma serial, que permiten realizar las operaciones necesarias para la obtención y variación de la información contenida en él.

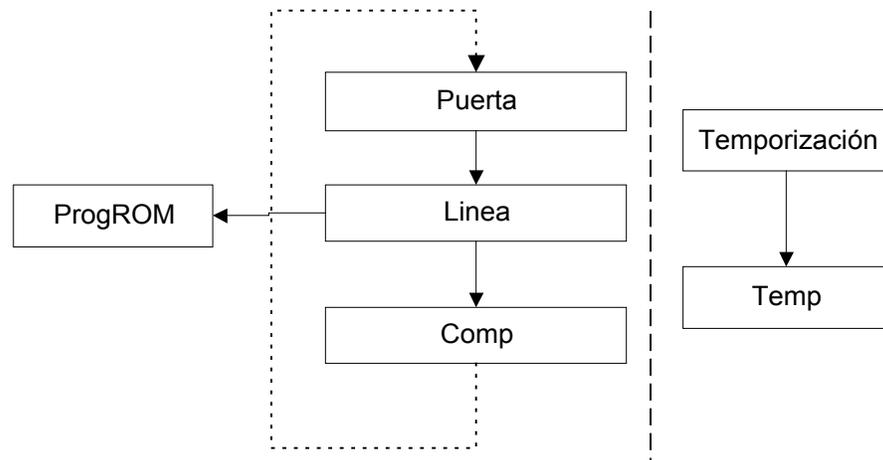


Figura 5.6 Diagrama de operación general del software del módulo de control

5.1.3.1 Rutina para el monitoreo del voltaje de línea (Línea)

El muestreo del voltaje de línea se realiza por medio del divisor de tensión formado por las resistencias R1, R2, R3 y R4, la señal obtenida se muestra en la figura 5.5.

Esta rutina es la encargada de monitorear la línea de alimentación AC, se le dio el nombre de “LÍNEA”. Esta rutina monitorea, aproximadamente 10 veces por semi-período, el valor del voltaje de la línea, se toman 8 muestras consecutivas, y se toma el valor promedio de las mismas.

La rutina en sí, se encarga de buscar el valor pico de la señal, para posteriormente comprobar si este valor encontrado, está dentro del rango de valores definidos para el equipo. Los valores máximo y mínimo permitidos para el voltaje pico, se obtienen a partir de los valores de voltaje efectivo dados en la tabla 5.2.

Para encontrar el voltaje pico se analiza la tendencia de la señal, para definir cuando esta deja de ser creciente e inicia a decrecer, este punto de inflexión se asocia con el valor pico de la señal. Esto se logra comparando cada muestra tomada, con la muestra anterior.

Esta rutina afecta la bandera de fallo en la línea. Activa esta bandera al detectarse que el voltaje pico, esta por encima del valor máximo o por debajo del valor mínimo definido. La misma bandera, se desactiva, luego de 32 ciclos de red en los cuales, se encuentre que el valor pico de la señal muestreada, están por encima del valor mínimo y por debajo del valor máximo.

Existe una bandera auxiliar utilizada por esta rutina, la cual indica la tendencia actual de la señal de voltaje, ya sea creciente o decreciente.

Cuando se encuentra el valor pico de la señal, se registra tal valor, en una cola de voltajes, la cual contiene los últimos 7 voltajes picos sensados.

Además de la cola anterior, se maneja una lista, en la cual se almacenan los 4 voltajes más altos a los que se ha expuesto el equipo. Al determinarse el voltaje pico, se compara este con los registrados en la lista. La lista se encuentra ordenada de mayor a menor, con el menor valor en la dirección más baja de memoria. Si todos los voltajes registrados en la lista son superiores o iguales que el valor que se pretende registrar, este no se registra, en caso contrario, se modifica la lista para, ingresar el nuevo valor, manteniendo siempre el orden definido, desplazando al menor en la lista.

A partir de los valores picos registrados, es posible conocer los voltajes efectivos, asociados a los mismos, a los cuales se expuso el equipo refrigerador.

Cuando la rutina LÍNEA, determina que el voltaje de alimentación AC es cero por más de 4 ocasiones de sensado consecutivas, llama a la rutina encargada de guardar en memoria no volátil los datos de voltajes de alimentación y temperaturas registrados.

En la figura 5.7 se presenta el diagrama de flujo general de esta rutina. En las subsecuentes figuras, se presentan diagramas de flujos más detallados de las subrutinas que ésta emplea.

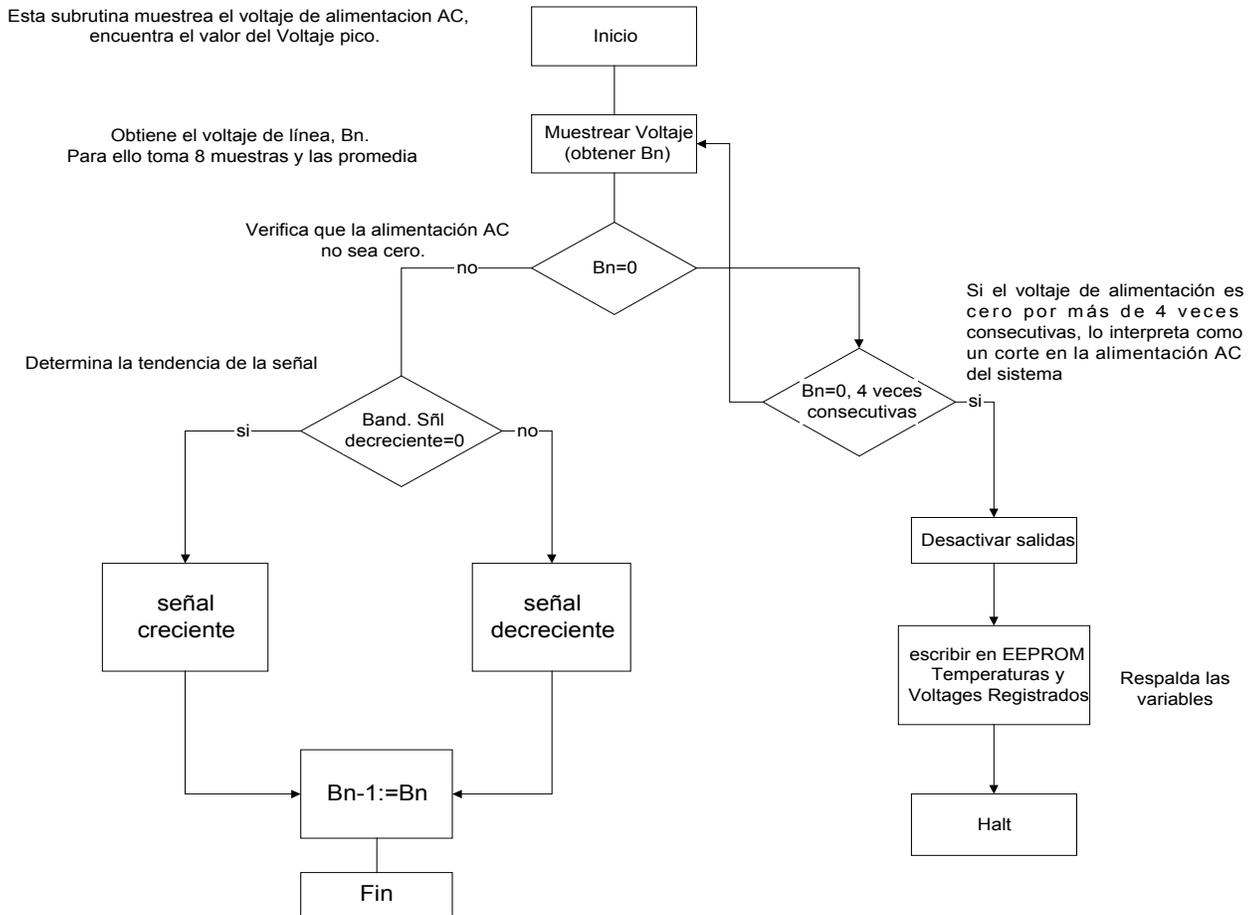


Figura 5.7 Diagrama de flujo general de la rutina LÍNEA.

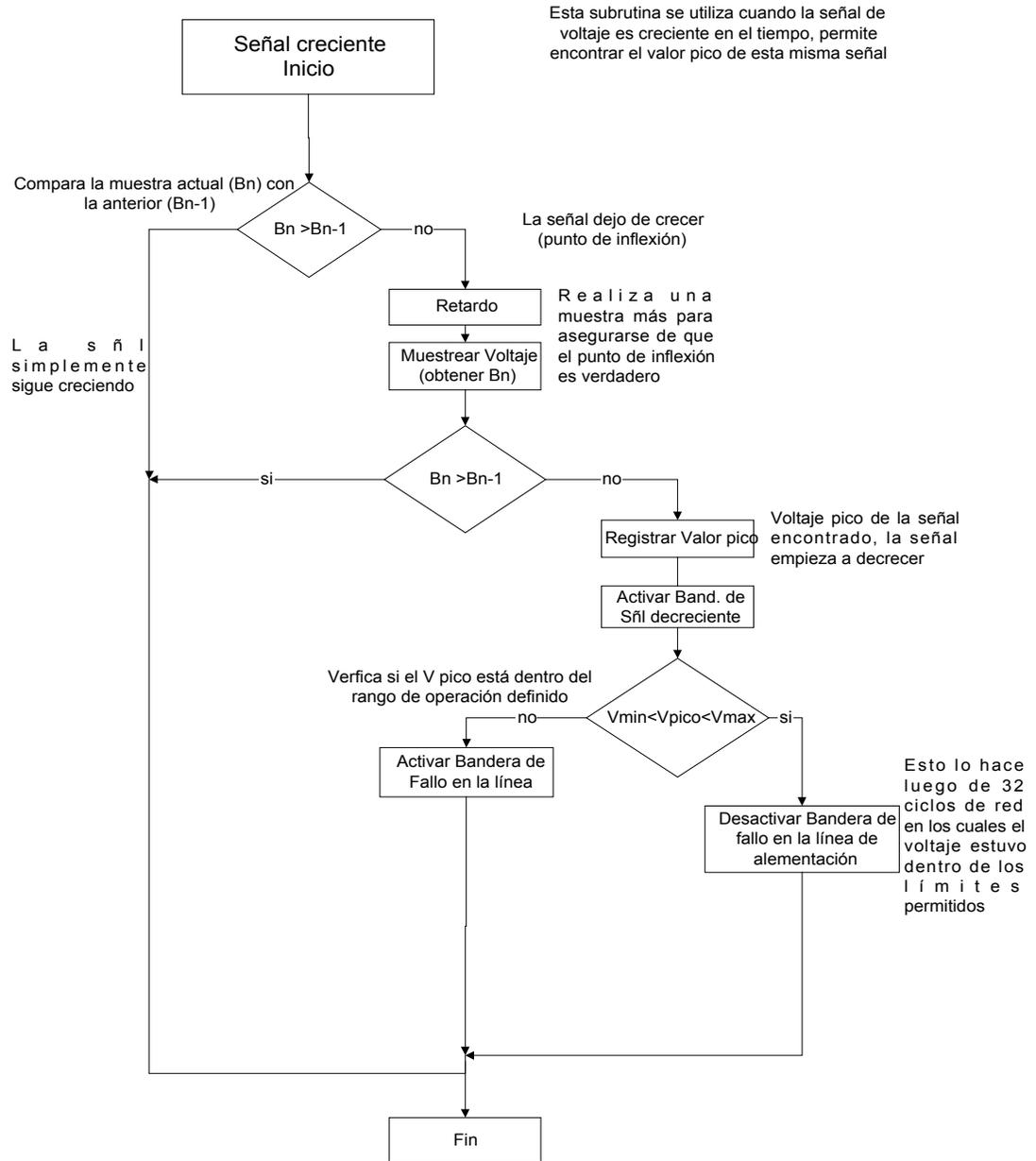


Figura 5.8 Diagrama de flujo para señal creciente en la rutina LÍNEA.

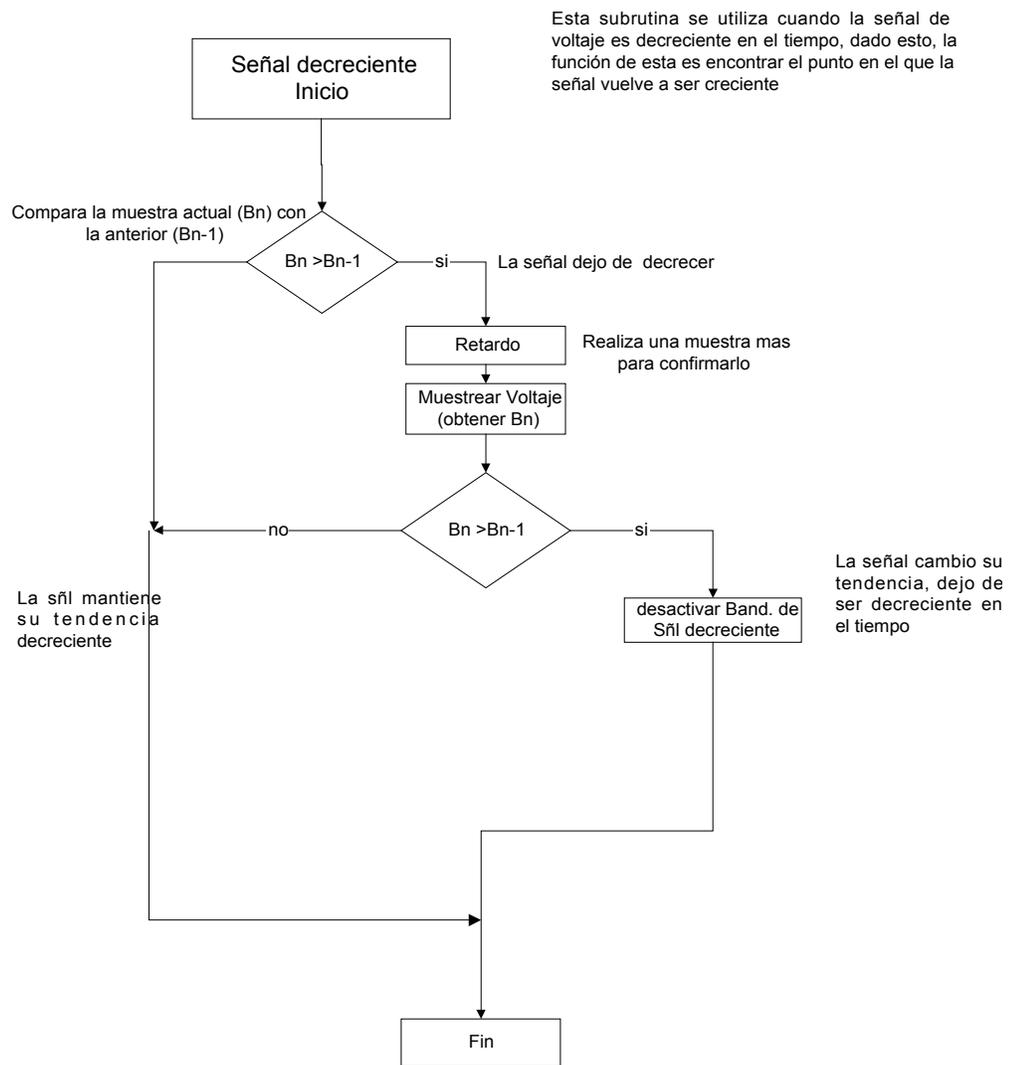


Figura 5.9 Diagrama de flujo para señal decreciente en la rutina LÍNEA.

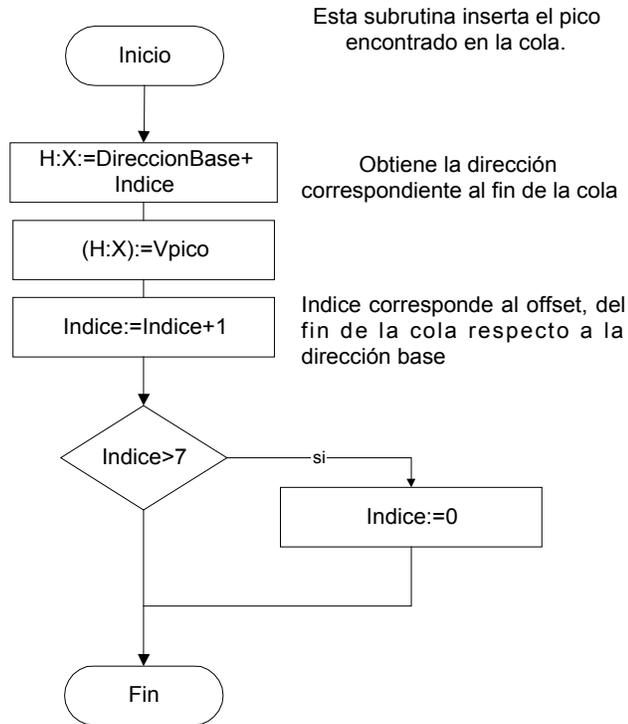


Figura 5.10 Subrutina para el registro del voltaje pico en la cola de memoria.

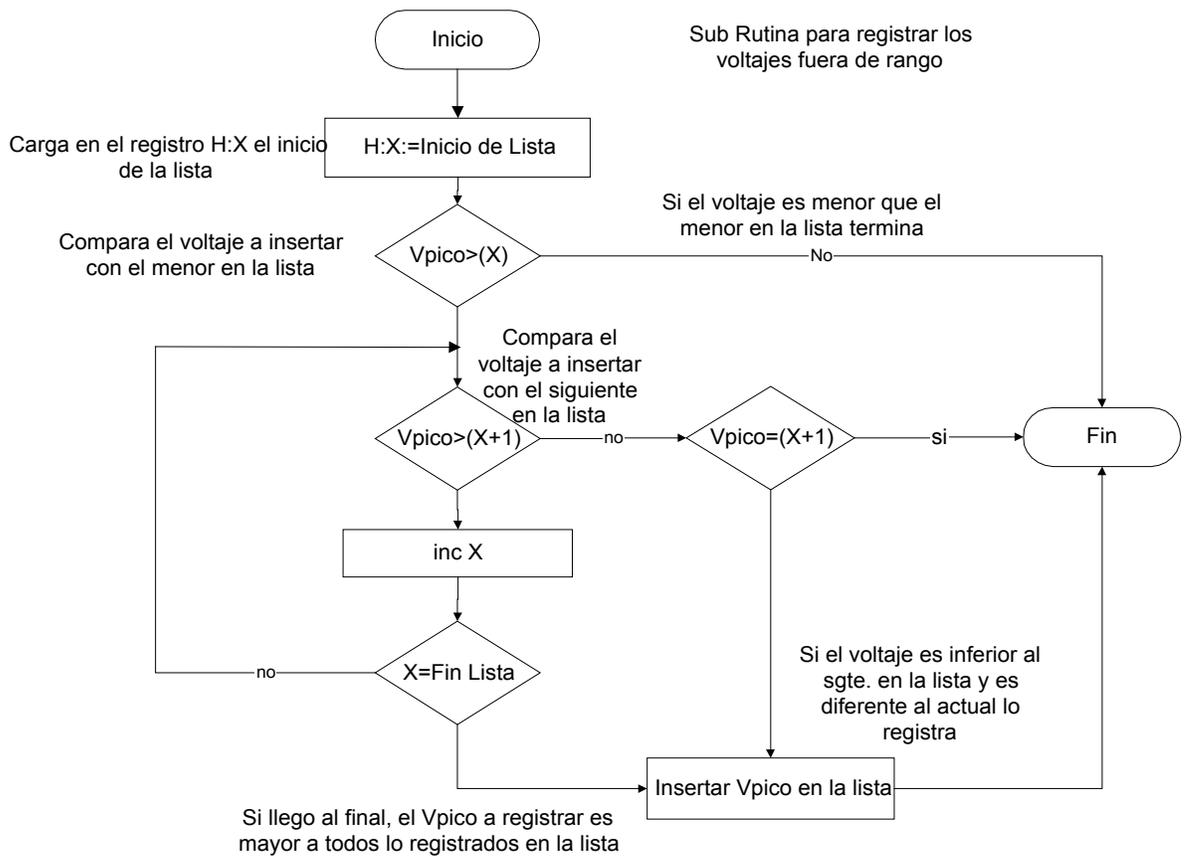


Figura 5.11 Subrutina para el registro de los voltajes de alimentación más altos.

5.1.3.2 Rutina para la programación de la memoria Flash EEPROM.

Esta rutina, como se mencionó, es llamada por la rutina “LÍNEA”, al sensor un voltaje de cero, durante 4 muestras seguidas. La energía para ejecutar esta rutina en ausencia de la alimentación eléctrica se toma de C1 (figura 5.4.a).

La rutina para programar la memoria flash del microcontrolador, se basa en las rutinas residentes en ROM del mismo. Estas rutinas permiten borrar y escribir en memoria Flash EEPROM. Existen ciertos requerimientos que se deben de tener en cuenta, para su adecuado uso y funcionamiento.

Es posible borrar ya sea los 4096 bytes de EEPROM, o una página de 64 bytes, y se puede programar cualquier rango de localidades de la EEPROM, pero éste debe estar en blanco (conteniendo \$FF en todas las localidades) por lo que estas localidades deben ser previamente borrados. Los datos a programar en memoria EEPROM, se toman de las localidades en RAM del microcontrolador, a partir de la dirección \$8C.

La dirección de inicio del bloque a programar se encuentra en el registro índice H:X, la dirección final del mismo, está en la dirección \$8A:8B de memoria RAM. Además se debe definir la frecuencia de operación del microcontrolador, en la dirección \$89.

Esta rutina se encarga principalmente de definir la dirección final y la inicial del rango de byte a programar, así como de llamar a las rutinas residentes en ROM para borrar y programar la memoria Flash EEPROM.

La memoria flash, tiene una vida útil de 10 000 ciclos de lectura y escritura, con el fin de extender el número de respaldos posibles que se pueden realizar en ella, se utilizan dos bloques diferentes de memoria, los cuales se escriben en forma alternada. Para esto se incluye en cada bloque, cada vez que se programa un contador de referencia, que permite identificar cual de ellos fue el último al que se escribió y cual es el que debe utilizarse en la operación actual. En la figura 5.12, se ilustran ambos bloques y sus contadores de referencia.

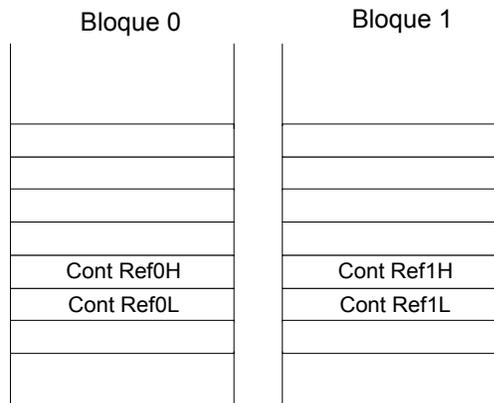


Figura 5.12 Bloques de memoria EEPROM y su identificador.

Las variables declaradas para el programa del módulo de control se definen, tal que se encuentren en las direcciones de RAM que las rutinas residentes en ROM emplean para obtener los datos a programar en EEPROM. Los datos que se almacenan en memoria no volátil, son:

- La cola FIFO correspondientes a los últimos 7 voltajes de alimentación registrados.
- El índice o puntero asociado con esta cola.
- La lista de los 4 voltajes de alimentación más altos registrados.
- Los registros de banderas.
- Las dos últimas temperaturas registradas en ambas cámaras.
- Los dos últimos voltajes sensados de la línea AC.
- El contador de referencia actualizado.

5.1.3.3 Rutina para el monitoreo de la puerta:

Esta rutina monitorea el estado actual de la puerta. Al estar la puerta abierta, se determina el tiempo que ésta lleva así. Este tiempo es evaluado, para determinar si la puerta ha permanecido abierta por más de dos minutos. De ser así, se activa la bandera de fallo en la puerta. Este bandera se evalúa en la rutina para el manejo del compresor, la cual al detectarla activa, desconecta el compresor.

También se sensa en forma indirecta si la puerta se encuentra mal cerrada, analizando la tendencia de la temperatura, si la misma no es decreciente mientras el compresor esté activo, se alerta al usuario por medio de una oscilación en el LED empleado como alarma visual. Esto presenta una limitación, ya que, el no decrecimiento de la temperatura, puede deberse a una fallo de mayor gravedad en el refrigerador, siendo siempre mucho más probable el fallo en la puerta.

5.1.3.4 Rutina para el monitoreo de la temperatura (TEMP):

Esta rutina se encarga de sensar la temperatura en ambas cámaras del equipo refrigerador. El sensado de estas magnitudes se realiza a través de los termistores citados en la descripción de hardware, utilizando los ADC del microcontrolador. Al igual que con la rutina de monitoreo de la línea, para cada sensado, se toma el valor promediado de 8 muestras consecutivas.

Esta rutina analiza el comportamiento de la temperatura en ambas cámaras, con el fin de determinar si dicho comportamiento es adecuado. Es de esperar, que si el compresor del refrigerador se encuentre activo, la temperatura de ambas cámaras sea decreciente en el tiempo. En caso de que la temperatura no decrezca por más de una cantidad definida de minutos en alguna de las cámaras, la rutina activa la bandera respectiva para indicar este problema. Como se dijo en la descripción de la rutina anterior, la causa de este comportamiento, puede ser principalmente que la puerta se encuentre mal cerrada, pero también se puede deber a un fallo más grave del refrigerador.

Para cada cámara se definen dos banderas. Una de estas banderas indica si la temperatura en la cámara amerita que se active el compresor. La otra bandera indica si la temperatura no decrece a pesar de que el compresor se encuentre encendido.

Si la temperatura en una de las cámaras se encuentra por encima del límite superior definido para esta, se activa la bandera de temperatura de la cámara. Si la temperatura, se encuentra por debajo del límite inferior, se desactiva la misma bandera. Existe una bandera general para temperatura, que es la descrita en la tabla 5.3. Esta bandera corresponde a la función “or”, de las banderas de temperatura de cada cámara.

El diagrama de flujo de la rutina se muestra en la figura 5.13. Este diagrama se emplea en el sensado de la temperatura de ambas cámaras. Primeramente se analiza la tendencia de la temperatura y luego, se evalúa el valor actual de la misma, para determinar si se encuentra dentro de los rangos de operación definidos, y en base a esto activar o desactivar las banderas correspondientes.

El muestreo de temperaturas se realiza periódicamente cada 4 segundos. Las banderas que afectan son la bandera de comp/temp. Además de las banderas de fallo general.

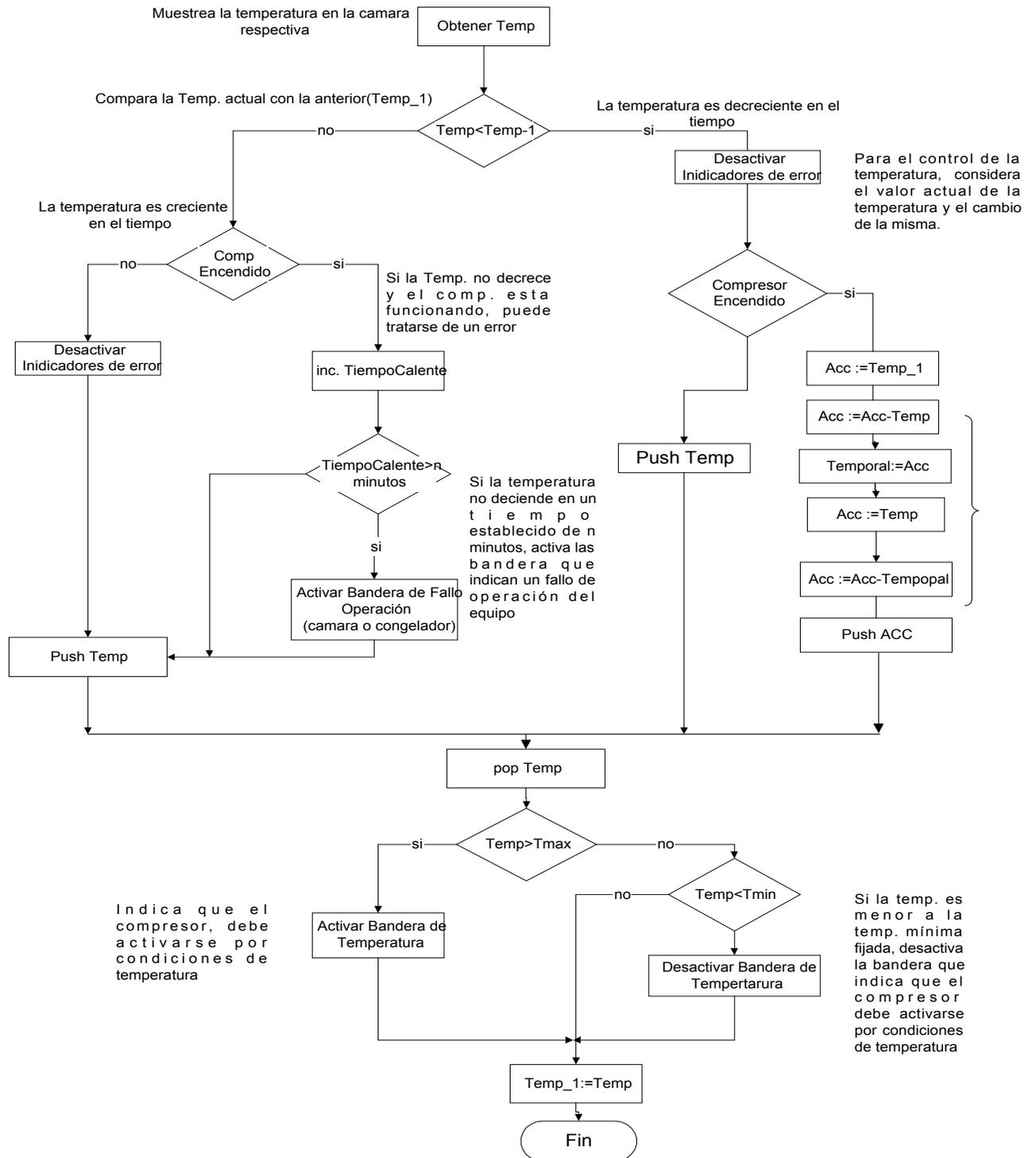


Figura 5.13 Diagrama de flujo para la rutina de monitoreo de temperatura.

5.1.3.5 Rutina para el manejo del compresor.

La rutina para el manejo de compresor, toma la decisión de conectar o desconectar el compresor en base al estado ciertas banderas. Se nombró como rutina "COMP". Las banderas evaluadas por esta rutina se muestran en la tabla 5.4, además, se muestran el estado lógico que deben tener estas para que el compresor se encienda.

Tabla 5.4 Banderas evaluadas para activar el compresor y el estado de las mismas.

Bandera	Estado Esperado
Comp/Temp	1
Fallo Línea	0
Fallo Puerta	0
Comp en Espera	0

Cuando las banderas de la tabla 5.4, tienen el estado definido en la misma, el compresor se activa. Cuando una o más de las banderas cambia de estado, el compresor se desactiva. Esta rutina acierta la bandera de compresor en espera al desconectar el mismo. Esta bandera, es evaluada en la rutina de temporización para actualizar cada segundo, el tiempo que ha transcurrido desde que el compresor se desactivó. La rutina COMP, se encarga de determinar si el tiempo de espera efectivamente se ha cumplido, de ser así, la bandera de compresor en espera es desactivada.

5.1.3.6 Rutina de tiempo

La rutina de tiempo se maneja por interrupción. En esta rutina se manejan los contadores de tiempo para las demás rutinas. Estos contadores se incrementan si los habilitadores de cada uno han sido acertados por las correspondientes rutinas.

Además se realiza en esta rutina la visualización de estado operación del equipo refrigerador. Para esto se utiliza un único led, el cual tiene cuatro frecuencias posibles de oscilación, las cuales se asocian 4 estados del equipo de refrigeración. Para el control del led se implementa una máquina de estados, de 16 estados continuos y cíclicos, cada estado con una duración de 125ms.

Los cuatro modos de funcionamiento del led y los estados de operación asociados con cada uno se muestran en la figura 5.14.

La rutina de tiempo en sí, consta de la implementación de la máquina de estados antes mencionada. En cada estado se evalúan las banderas adecuadas, para determinar el encendido o apagado del led. Dado que los estados tienen una duración cercana a 0.125 segundo, los estados 0 y 8 se asocian con el cumplimiento de un segundo, En estos estados, se salta a atender los contadores de tiempo antes descritos.

Las funciones asociadas con cada estado se muestran en la tabla 5.5

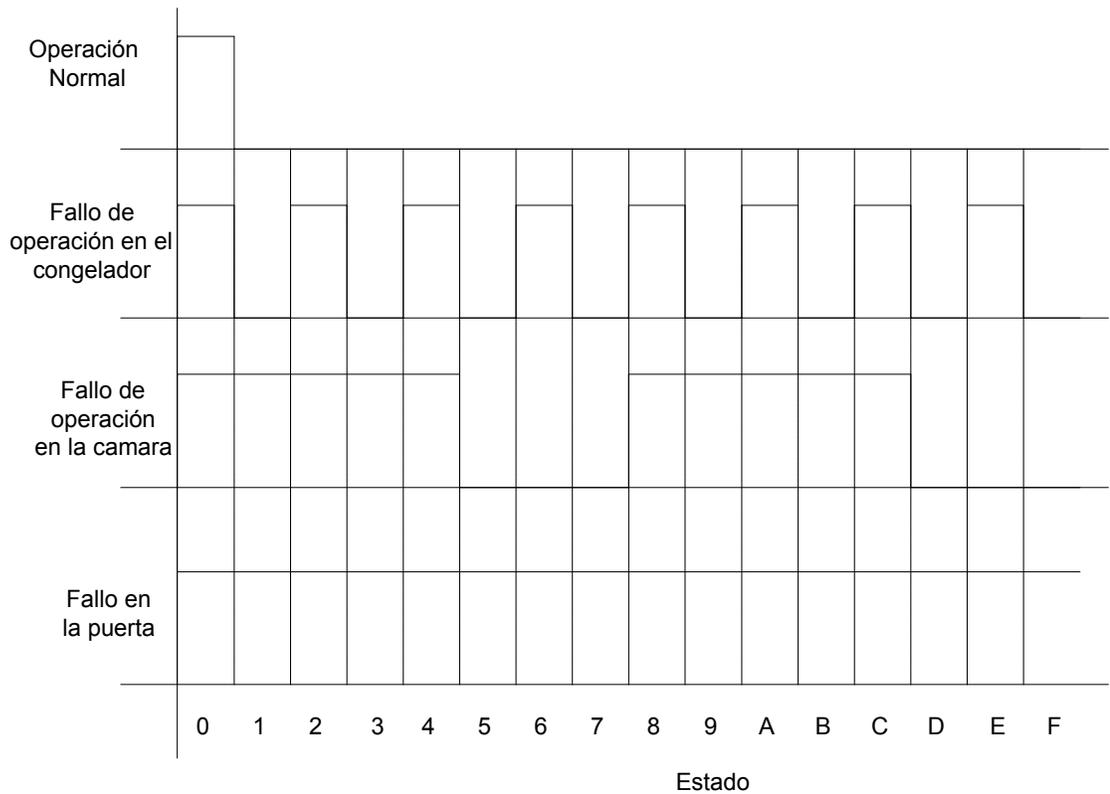


Figura 5.14 Diagrama de la operación del led para cada estado.

Tabla 5.5 Descripción de estados para la operación del led.

Estado	Función
0	Encender led, Atender contadores de tiempo
1, 3, 7, 9, B, F.	Desactiva led si bandera de fallo general esta activa y la bandera de fallo en la puerta se encuentra desactiva
2, 4, 6, A, C, E	Activa led si la bandera de fallo general esta activa
5, D	Desactiva el led si alguna de las banderas de fallo general esta activa y la bandera de fallo en la puerta se encuentra desactiva
8	Activa el led si alguna de las banderas de fallo general esta activa. Atiende contadores de tiempo.

5.2 MÓDULO DE DIAGNÓSTICO

5.2.1 Descripción general de funciones

El módulo de diagnóstico permite, al conectarse al módulo de control, la obtención del valor de las variables de temperatura y voltaje de alimentación, así como la modificación de los parámetros de operación del equipo de refrigeración.

La comunicación entre los módulos se realiza en forma serial. Se puede obtener y visualizar mediante el módulo de diagnóstico, los voltajes de línea y temperaturas que se han registrado en el refrigerador antes del corte de la alimentación eléctrica, así como los valores actuales de estas variables.

5.2.1.1 Variación y obtención de Parámetros.

La función de variación de los parámetros de operación, se refiere al cambio de los valores límites de los intervalos permitidos de operación, para la temperatura de las cámaras y del voltaje de alimentación (en valor rms). Para realizar esto se utilizan las facilidades de operación en modo monitor de la familia HC08 de microcontroladores Motorola y los comandos series de este modo.

La función de obtención de parámetros, permite obtener y visualizar los valores de las temperaturas de cada cámara y el voltaje de alimentación del equipo refrigerador, registrados por el módulo de control, antes de que se produjese la desconexión del mismo, así como los valores actuales de estas mismas variables.

Para esta función, se aprovechan igualmente las opciones del modo monitor, para leer las localidades de memoria, así es posible leer desde el módulo de diagnóstico, las variables almacenadas en memoria del microcontrolador del módulo de control. De esta forma, se puede obtener de este microcontrolador los voltajes de alimentación y temperaturas registradas por este, para su posterior visualización.

5.2.1.2 Diagnóstico.

Originalmente se planteó que este módulo realizara rutinas que permitieran el diagnóstico de refrigeradores en el campo (por esto se le llamó módulo de diagnóstico, nombre que se mantiene a lo largo de este documento). Sin embargo, la empresa cliente no suministró en forma adecuada la información para la realización de las mismas. Además de esto existen ciertas condiciones dentro de la empresa ejecutora, que tienden a focalizar y centralizar en el desarrollo e implementación de las rutinas del módulo de control y en las funciones de visualización y variación de los parámetros, del módulo de diagnóstico. Por lo tanto se excluyeron las rutinas de diagnóstico.

5.2.1.3 Interfaz con el usuario

Este módulo cuenta con una interfaz con el usuario que le permita definir la operación a realizar, además de visualizar parte o toda la información que se obtenga del módulo de control. Esto se implementa con un LCD y un conjunto de interruptores tipo push buttons, a los cuales se les asociará funciones variables de acuerdo con la operación que se realice.

De acuerdo con la función seleccionada por el usuario, el módulo de diagnóstico trasmite al módulo de control los comandos y datos necesarios para ejecutar las rutinas requeridas para completar la operación a realizar.

5.2.2 Descripción de hardware

Un diagrama de bloques del circuito diseñado se presenta en la figura 5.15. El diagrama esquemático de cada bloque se presenta en la figura 5.16.

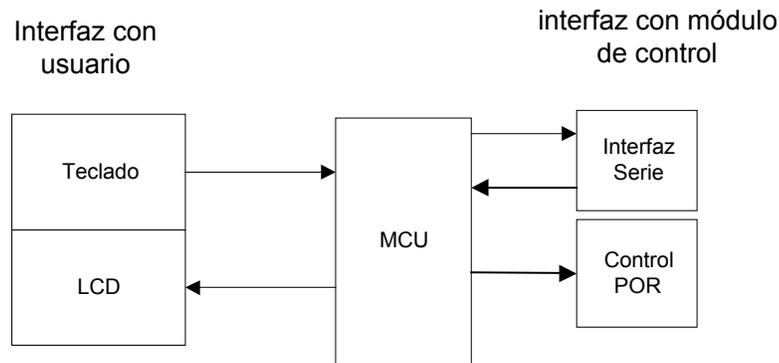


Figura 5.15 Diagrama de bloque del módulo de diagnóstico.

En la figura 5.16.a, se presenta la parte de alimentación junto con el oscilador del módulo. El oscilador acá empleado es equivalente al empleado en el módulo de control, esto con el propósito de obtener la misma velocidad de comunicación de 9 600 bauds.

El circuito de alimentación de este módulo, es mucho más simple que el empleado en el otro módulo, dado el carácter móvil o portátil que debe tener. Se emplea para la alimentación del mismo, baterías DC o adaptadores AC/DC 9V. Por esta razón no se requiere un transformador, ni un puente rectificador.

El diodo D1, desconecta la batería de la línea de alimentación al conectarse el adaptador de 9 V en las terminales PLG1 y PLG2. Los 5 V requeridos por el MCU de este módulo se obtienen del regulador 7805.

La interfaz con el módulo de control, se presenta en la figura 5.16.b. El “Port 1”, se utiliza para comunicar el módulo de diagnóstico con el módulo de control. A través de esta conexión, se suministra a este último módulo, las señales que este requiere para la operación durante la etapa de obtención y variación de parámetros.

Para la comunicación serie, se emplea dos buffers no inversores de tercer estado. Estos permiten hacer la transición de dos líneas separadas para recepción y transmisión a una sola línea, que es la utilizada por el microcontrolador del módulo de control.

En la figura 5.16.b, se muestra también el port0, el cual se utiliza para la programación del módulo de diagnóstico. Esto permite variar el programa del microcontrolador de este módulo, sin necesidad de removerlo de la tarjeta del circuito impreso. Para realizar esta programación, el microcontrolador debe estar en modo monitor. Las condiciones de entrada al modo monitor son las descritas en la sección 5.1.2.

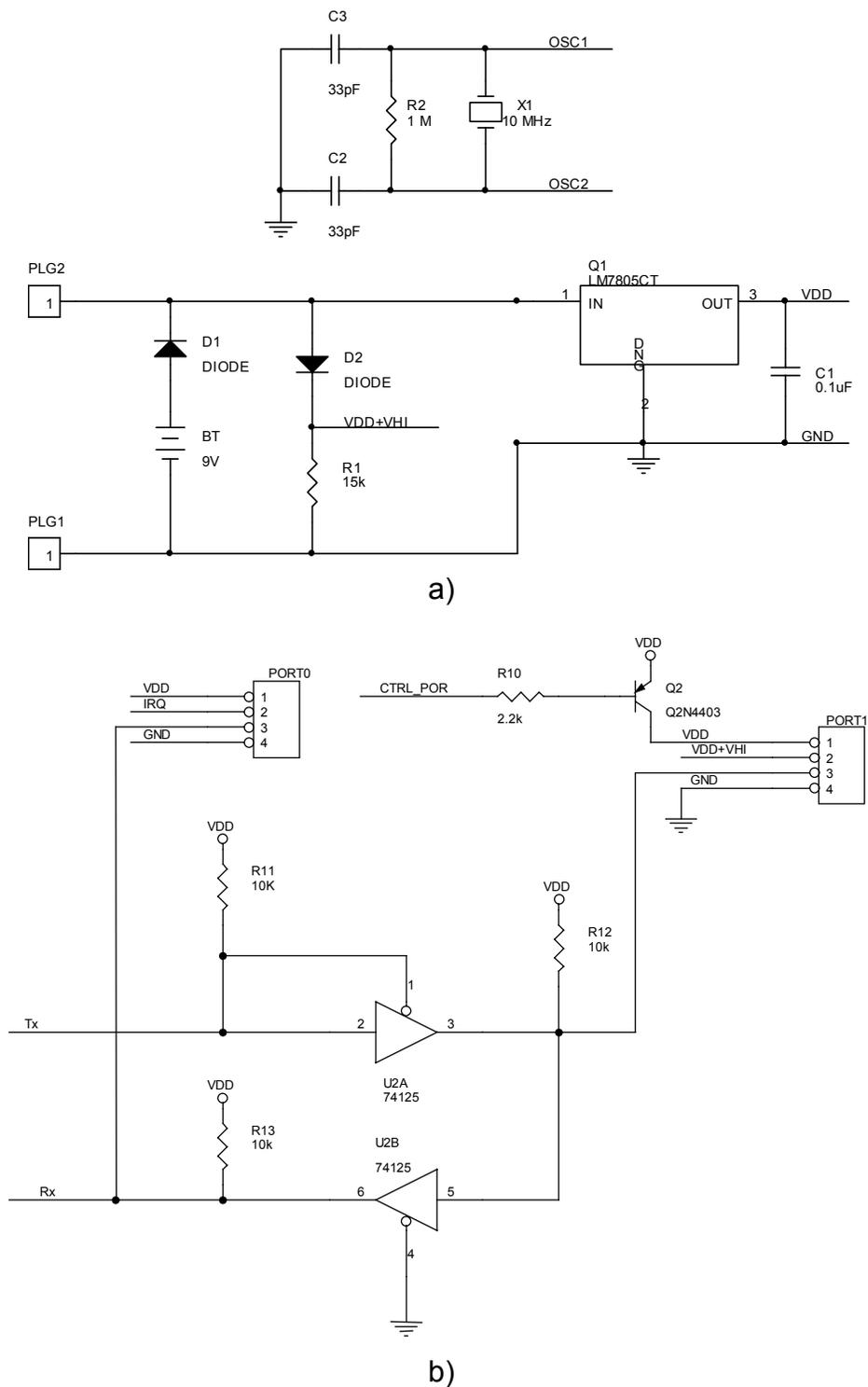


Figura 5.16 Diagrama esquemático del módulo de diagnóstico. a)alimentación b) Interfaz con el módulo de control.

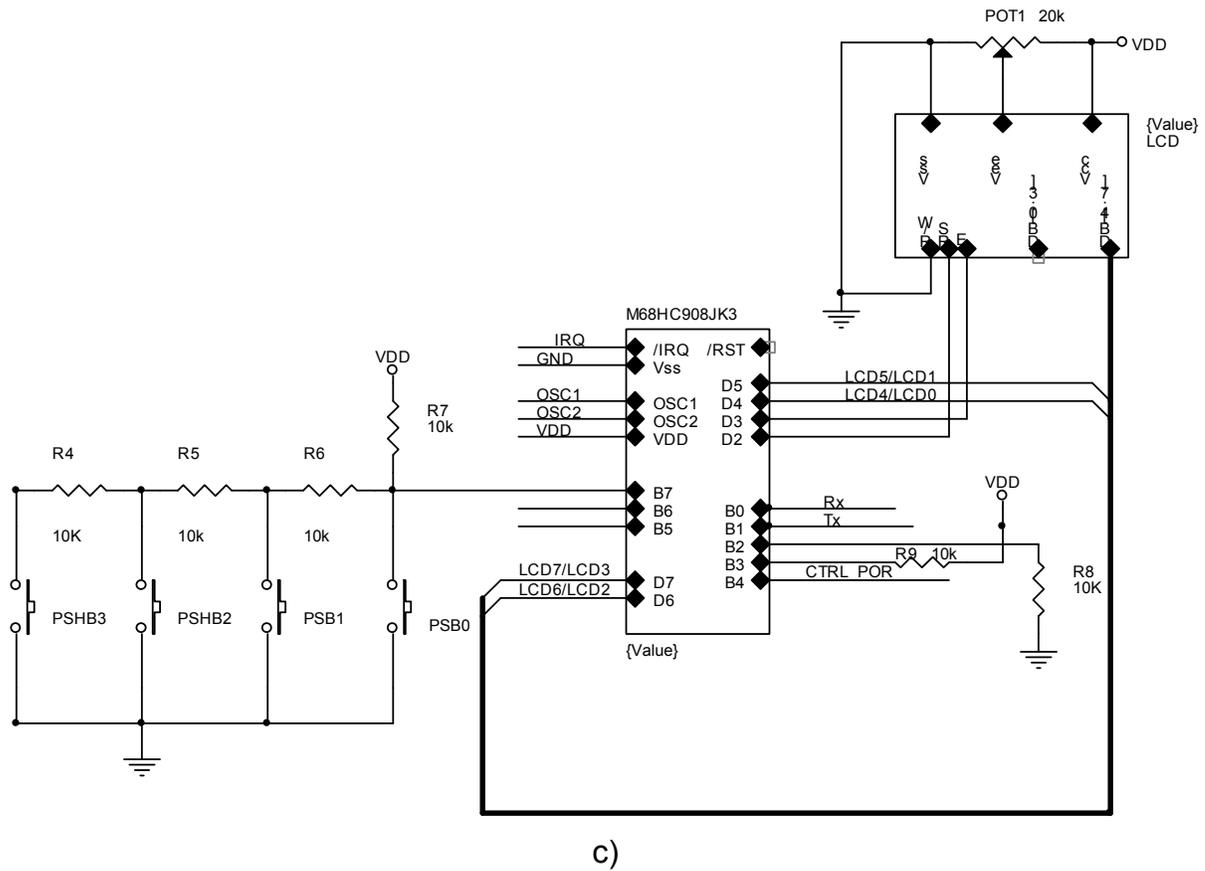


Figura 5.16 Diagrama esquemático del módulo de diagnóstico (continuación). c) MCU e interfaz con el usuario.

Finalmente, el microcontrolador y las conexiones del mismo al grupo de push buttons y al LCD (pantalla de cristal líquido), que conforman la interfaz con el usuario, se pueden observar en la figura 5.16.c.

El LCD se puede manejar con un bus de datos de 8 o 4 bits. A través de este bus se transmiten a este dispositivo, comandos, caracteres a desplegar y la dirección en la que se desplegarán. Existen 3 señales de control, estas son: RS, R/W, y E. Una descripción de cada señal se presenta en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Descripción de las señales de control del LCD.

Señal	Función
R/W	Permite definir si la función a realizar corresponde a una lectura o escritura de datos
RS	Selección de función. Permite definir si el byte colocado en el bus de datos se asocia a un dato o a una instrucción. RS=1: Byte en el bus de dato corresponde a un dato RS=0: Byte corresponde a una instrucción.
E	Señal de habilitación. Actúa como una señal de temporización, el proceso de escritura o lectura inicia luego de producirse una transición de alto a bajo en esta señal.

El LCD se configura para emplear un bus de datos de 4 bits, para reducir el número de pines necesarios para su control. Se emplean dos pines adicionales del microcontrolador, para controlar las señales de control RS y E del LCD. La tercera señal de control, R/W, se conecta a 0 V, ya que solo se realizan operaciones de escritura del microcontrolador hacia este dispositivo, por lo que el estado lógico se puede fijar, como se hace en este caso.

El grupo de interruptores de pulso (push button), conforma una red con forma de escalera, estos se conectan al pin B7 del microcontrolador. El voltaje que aparece en este pin, varía de acuerdo al pulsador presionado. El pin B7, se utiliza, como convertidor analógico, para poder determinar el voltaje existente en él, y así poder definir el pulsador que se ha presionado.

Dado la configuración anterior, los push button más a la derecha, tienen mayor prioridad que los que se encuentran a la izquierda en la figura 5.16.c. Considerando esto, PSB0, posee la más alta prioridad y PSB3 la menor.

La configuración anterior permite reducir el número de pines empleados para el manejo del conjunto de pulsadores. El número de interruptores de este tipo, se puede aumentar, incrementando la cantidad de “peldaños” en la escalera. Sin embargo existe un límite en el número de peldaños, a partir del cual la diferencia de voltaje que aparece en el pin B7 para dos diferentes push buttons tiene a ser prácticamente nula. El voltaje que aparece en el pin B7, al presionar al presionar el Botón “n” se puede calcular por la expresión:

$$V_{B7} = \frac{n}{n+1} 5$$

Ecuación 5.1

Se observa que conforme “n” crece, el valor del voltaje en el pin B7, tiende a 5V, similarmente la razón de cambio del mismo respecto a “n”, tiende a ser cero, es decir, el voltaje asociado al botón n, es prácticamente igual al del botón (n+1). La resolución del ADC es de 20 mV, por lo que la diferencia entre los voltajes que se relacionan a dos botones debe ser mayor a esta resolución.

A pesar de lo anterior la red de escalera, es eficiente y confiable para el número de botones que se utilizan. Las funciones asignadas a cada pulsador o push button, se presentan en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Descripción de las funciones asignadas a cada pulsador.

Pulsador	Función
PSB0	Decrementar el valor en pantalla. Regresar o retroceder a la opción anterior
PSB1	Incrementar el valor en pantalla. Avanzar a la siguiente opción
PSB2	Aceptar, Confirmar.
PSB3	Cancelar

5.2.3 Descripción de software

Las funciones de este módulo implican básicamente el intercambio de datos con el módulo de control y la visualización de los mismos. Considerando esto, las rutinas empleadas en este módulo se pueden dividir en dos grupos:

- Rutinas de interfaz con el usuario, las cuales presentan menús y obtienen las decisiones del usuario, además de desplegar la información obtenida del módulo de control.
- Rutinas de interfaz con el módulo de control, las cuales se encargan de la comunicación con el módulo de control y de transmitir comandos y recibir datos del mismo.

Ambos grupos de rutinas, en forma conjunta, permiten realizar las operaciones de este módulo.

Durante la etapa de variación de parámetros de operación y de visualización de los mismos, el módulo de diagnóstico se encarga de transmitir al módulo de control los comandos y los datos requeridos, para poder obtener y variar la información almacenada en éste, así también, debe recibir en forma serial la información suministrada por el módulo de control.

El microcontrolador MC68HC908JK3 utilizado en el módulo de diagnóstico carece de un puerto serial definido como tal. Se implementó una rutina que permite la transmisión de bytes en forma serial, con un formato de 8 bits de datos, 1 de parada, sin paridad. Para la recepción de datos se empleó una rutina residente en ROM del microcontrolador. Esta rutina permite la recepción de bytes en forma serial, con el mismo formato antes citado.

Para la comunicación con el módulo de control se emplean, como se mencionó anteriormente, los comandos del modo monitor. Una descripción de este modo se presenta en el Anexo A. En la tabla 5.8, se presenta una breve descripción de los comandos del mismo, y la función asociada con cada uno.

En adelante, al microcontrolador del módulo de control se le llamará microcontrolador B.

Tabla 5.8 Descripción de los comandos del modo monitor de la familia de microcontroladores HC08 de Motorola.

Comando	Función
READ	Lee un byte en una dirección de memoria dada.
IREAD	Lee dos bytes, ubicados en las localidades de memoria consecutivas a la última localidad accesada.
WRITE	Escribe un byte, en una dirección de memoria dada.
IWRITE	Escribe un byte, en la dirección de memoria siguiente a la última dirección accesada.
READSP	Obtiene el valor del puntero de pila.
RUN	Permite ejecutar una rutina específica.

5.2.3.1 Rutinas de interfaz con el módulo de control

Rutina para transmisión de datos en forma serial.

Esta rutina es básica en lo referente a la interfaz con el módulo de control, ya que permite la transmisión de un byte en forma serial. El byte a transmitir se coloca en el acumulador (ACC). El contenido del acumulador se desplaza hacia la derecha, quedando el bit menos significativo reflejado en la bandera de acarreo del registro de condición. El bit transmitido refleja el estado de la bandera de acarreo.

La duración de cada bit es de aproximadamente $104\mu\text{s}$, tiempo, asociado a una velocidad de 9600 bps.

El diagrama de flujo de esta función se presenta en la figura 5.17.

Como sub-rutinas básicas se definieron, pequeñas funciones que se encargan de enviar, en forma serial, los comandos del modo monitor, así como direcciones y datos, al microcontrolador B. Estas rutinas requieren que el comando a transmitir sea colocado en el acumulador y la dirección en las variables declaradas DirH: Dirección, como parte alta y parte baja respectivamente. Para la transmisión de los datos, se emplea la rutina de transmisión serial anteriormente descrita.

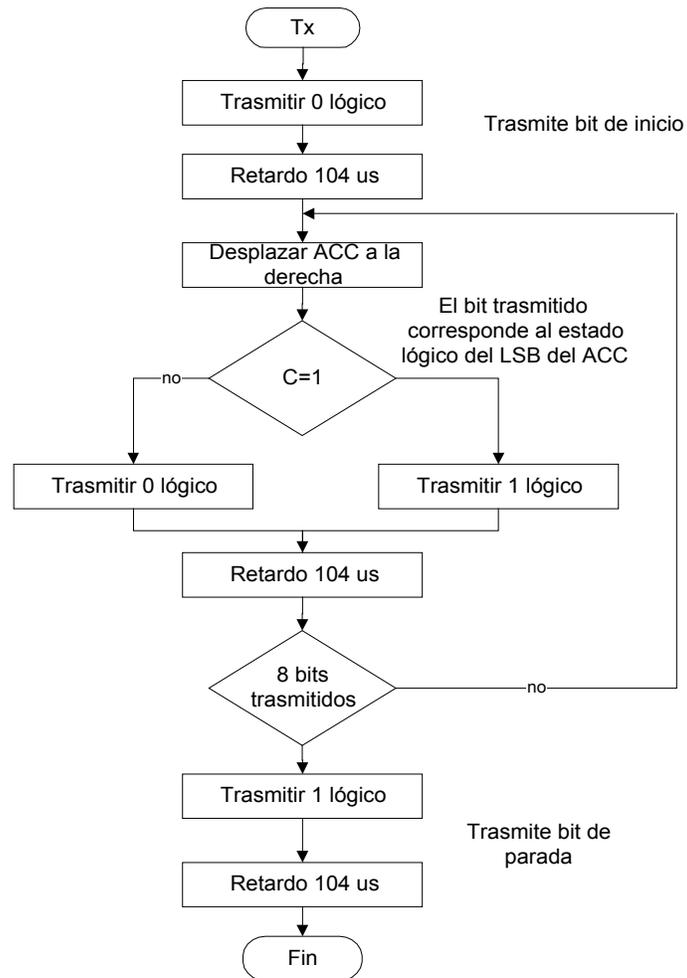


Figura 5.17 Diagrama de flujo de la rutina de transmisión serial.

Rutina para leer un bloque de memoria.

Esta rutina permite obtener un bloque de datos de una cantidad determinada de bytes, los cuales inician en una dirección de memoria definida, del microcontrolador B.

La dirección de inicio de los bloques de datos a leer se define en el registro H:X. Los datos leídos se almacenan en memoria RAM del microcontrolador del módulo de diagnóstico.

La cantidad de bytes a leer es de 16 bytes. En la figura 5.18., se presenta el diagrama de flujo de esta rutina.

Rutina para escribir un bloque de datos.

Con esta rutina, se escribe en memoria RAM del microcontrolador B una cantidad dada de bytes. Los datos se transfieren ya sea de memoria RAM o de memoria no volátil del microcontrolador del módulo de diagnóstico. Como parámetros de esta rutina, se tienen las direcciones de inicio y fin del bloque de bytes a transferir, además de la dirección de destino a partir de la cual se empiezan a escribir los mismos.

A diferencia de la rutina anterior, el número de bytes a escribir no es fijo, si no que es definido por las direcciones de inicio y final del bloque de los mismos.

El diagrama de flujo para esta rutina se muestra en la figura 5.19.

Rutina para detección de errores.

Esta rutina permite detectar la incidencia de errores en las operaciones de lectura y escritura anteriormente descritas. Las operaciones de lectura o escritura de un conjunto de datos, implican la transferencia de datos de un bloque de memoria de un microcontrolador, el cual actúa como fuente de los datos, a un bloque de memoria en el otro microcontrolador, el cual actúa como destino de los mismos.

La rutina para detección de errores, compara el bloque de memoria destino con el bloque de memoria fuente, con el fin de verificar la equivalencia entre ambos. En caso de que los bloques no sean iguales, se activa una bandera que indica esta situación. Esta bandera es evaluada por una rutina de mayor jerarquía, la cual decide si realizar una vez más la operación de lectura o escritura, o si descarta la misma y advierte al usuario de la falla presentada.

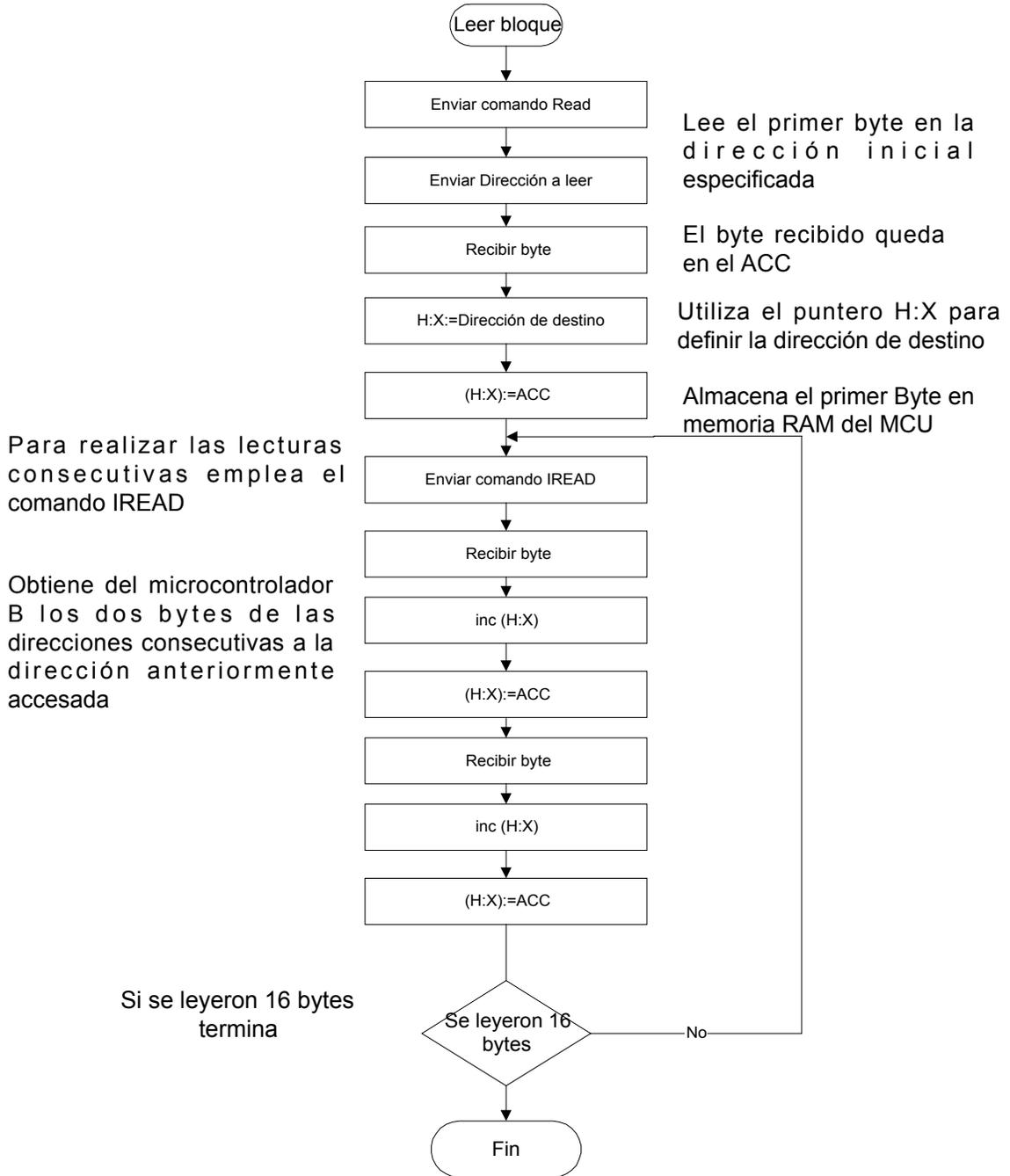


Figura 5.18 Diagrama de flujo de la rutina para leer un bloque de datos.

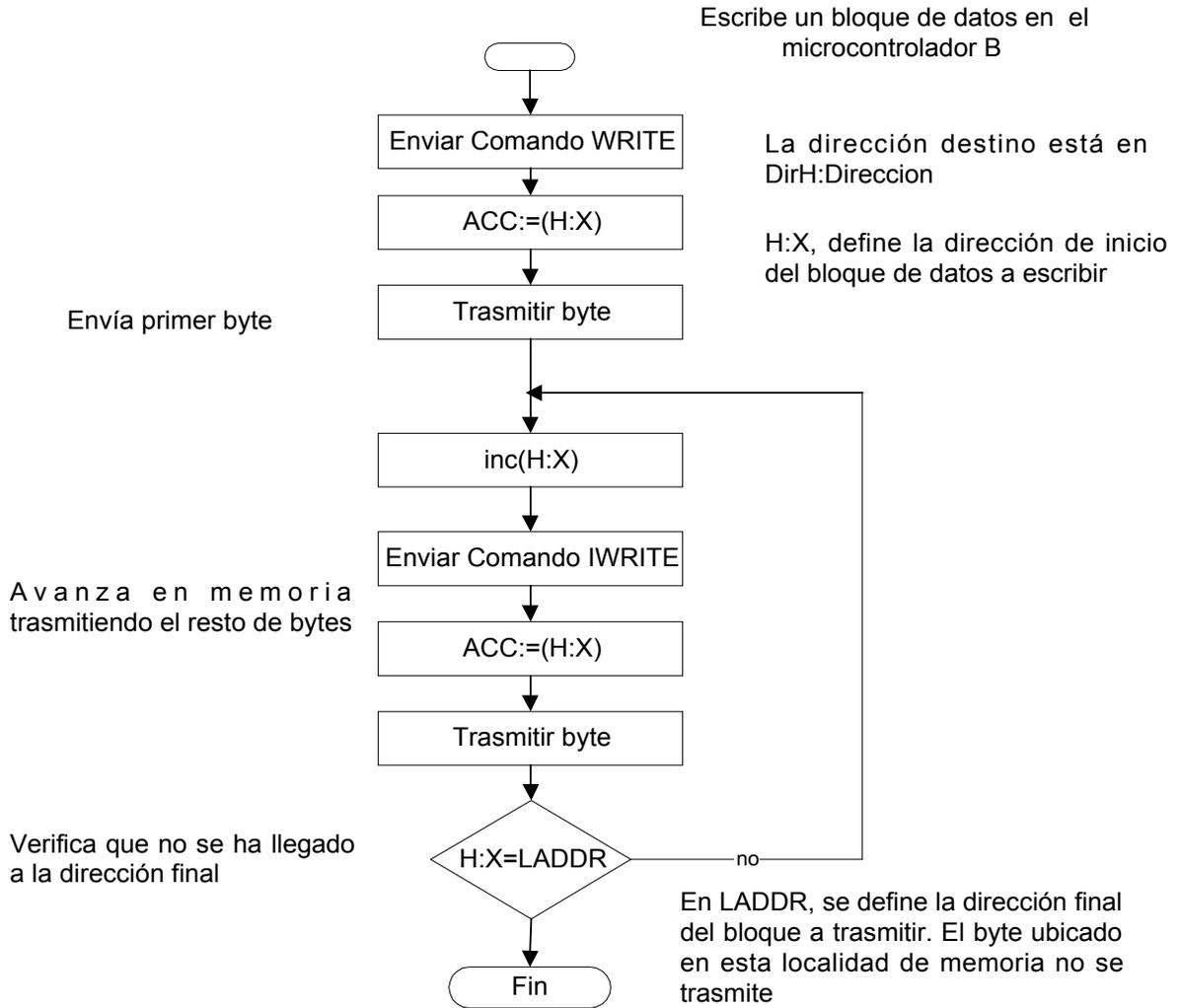


Figura 5.19 Diagrama de flujo de la rutina para escribir un bloque de datos.

Rutina para descargar y ejecutar una rutina al microcontrolador B.

Esta rutina, se encarga de descargar una rutina contenida en memoria del microcontrolador del módulo de diagnóstico a memoria RAM del microcontrolador B, a partir de la dirección \$00CC, para ello, se emplean los comandos de escritura del modo monitor.

Una vez que se ha descargado la rutina, se procede a ejecutar la misma, esto implica forzar al microcontrolador B a que ejecute esta rutina.

Con el comando "RUN", del modo monitor, se fuerza al MCU B a ejecutar la instrucción de retorno de interrupción "RTI". Esto hace que este microcontrolador recupere de la pila el valor del registro de código de condición (CCR), el acumulador, el registro X, y el contador de programa (PC). La forma en que estos se almacenan en la pila se ilustra en la figura 5.20.

El valor del PC contenido en la pila, define la dirección de retorno, en la cual se obtiene la siguiente instrucción a ejecutar, una vez que se realiza el retorno de interrupción. Considerando esto, para forzar la ejecución de la rutina que se descargó en memoria, se varía el valor de PC almacenado en la pila, para que su valor sea correspondiente a la dirección de inicio de la rutina recién descargada. Básicamente la operación que se realiza es la siguiente:

(SP+4):=\$00 ;varía parte alta del PC.

(SP+5):=\$CC ;varía parte baja del PC.

Luego de hacer esta modificación, se trasmite el comando "RUN" al microcontrolador B. Un diagrama de flujo general de esta rutina se presenta en la figura 5.21.

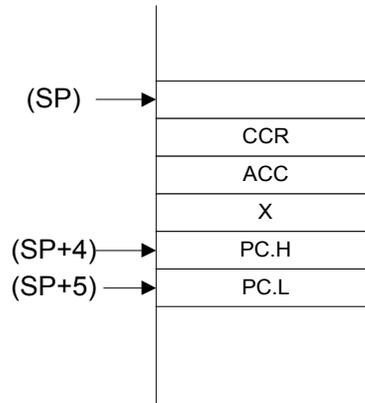


Figura 5.20 Almacenamiento de los registros en la pila durante la atención de una interrupción.

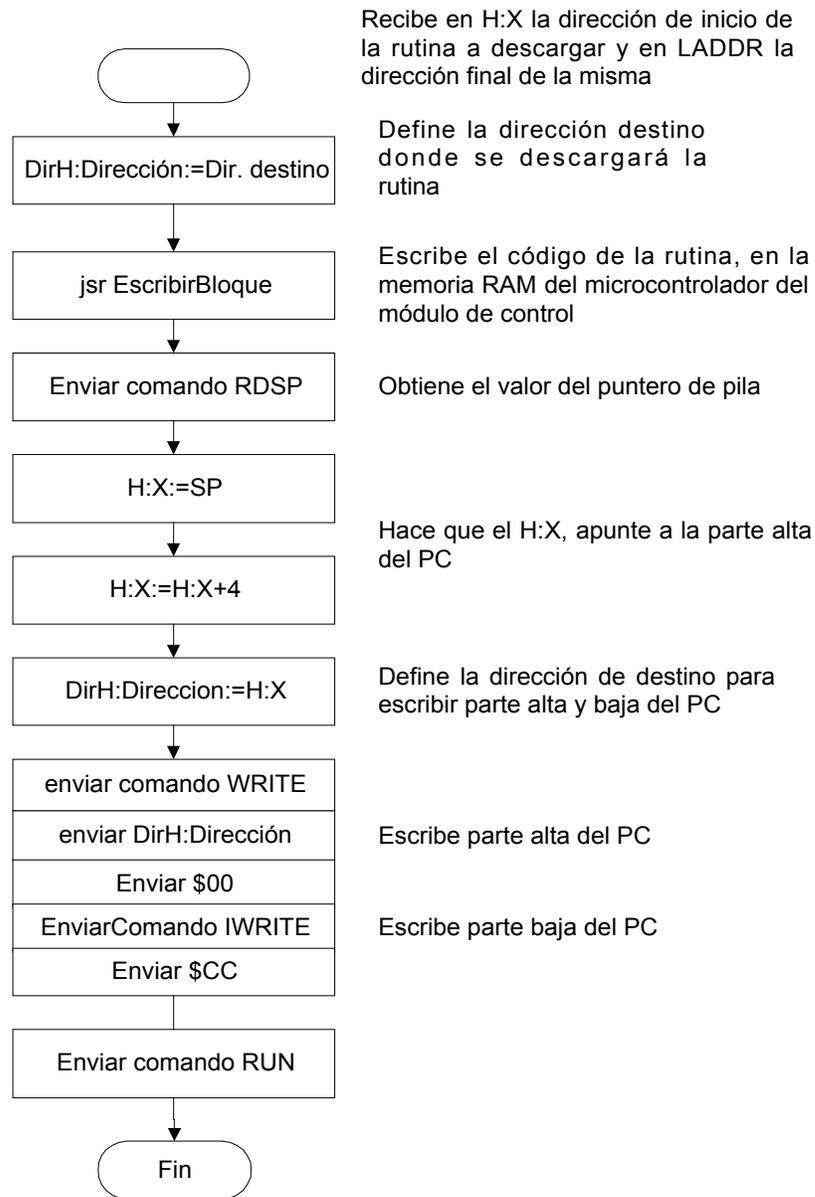


Figura 5.21 Diagrama de flujo para la rutina para descargar y ejecutar una rutina.

Rutina para escribir en la memoria flashEEPROM.

Para la implementación de esta rutina, se emplea la rutina residente en el microcontrolador del módulo de control encargada de escribir la flash EEPROM. Esta rutina se describió en la sección 5.1.3.2. Dicha rutina, permite programar 32 bytes en memoria EEPROM, la dirección inicial de este bloque se define en la localidad \$80. Los datos a programar deben estar en memoria RAM, a partir de la dirección \$8C.

La rutina acá descrita, se encarga de especificar la dirección de memoria a programar, y de descargar a memoria RAM del microcontrolador del módulo de control, los datos a programar.

Luego de hacer esto, se descarga y ejecuta una subrutina al módulo de control, la cual realiza un llamado a la rutina residente en este módulo, antes mencionada.

Rutina para leer voltajes de alimentación y temperaturas anteriores al corte.

Esta rutina permite obtener los valores del voltaje de alimentación y de las temperaturas de las cámaras del refrigerador, registrados en el módulo de control, antes de que se produjese la desconexión del equipo.

Como se mencionó en la sección 5.1.3.2, el microcontrolador del módulo de control, utiliza dos bloques de EEPROM, para almacenar los valores de las variables antes del corte de la alimentación. Cada uno de estos bloques tiene asociado un contador de referencia, que indica cual fue el último bloque de memoria que se empleó (ver figura 5.12).

Para definir el bloque de memoria del cual se obtendrán los voltajes y temperaturas, primero se comparan los contadores de referencia de cada uno, y se escoge el bloque asociado al contador cuyo valor sea el más alto.

Posteriormente se leen los valores de temperaturas y los valores de voltaje, utilizando la rutina para leer un bloque de datos. En la figura 5.22 se presenta el diagrama de flujo para esta rutina.

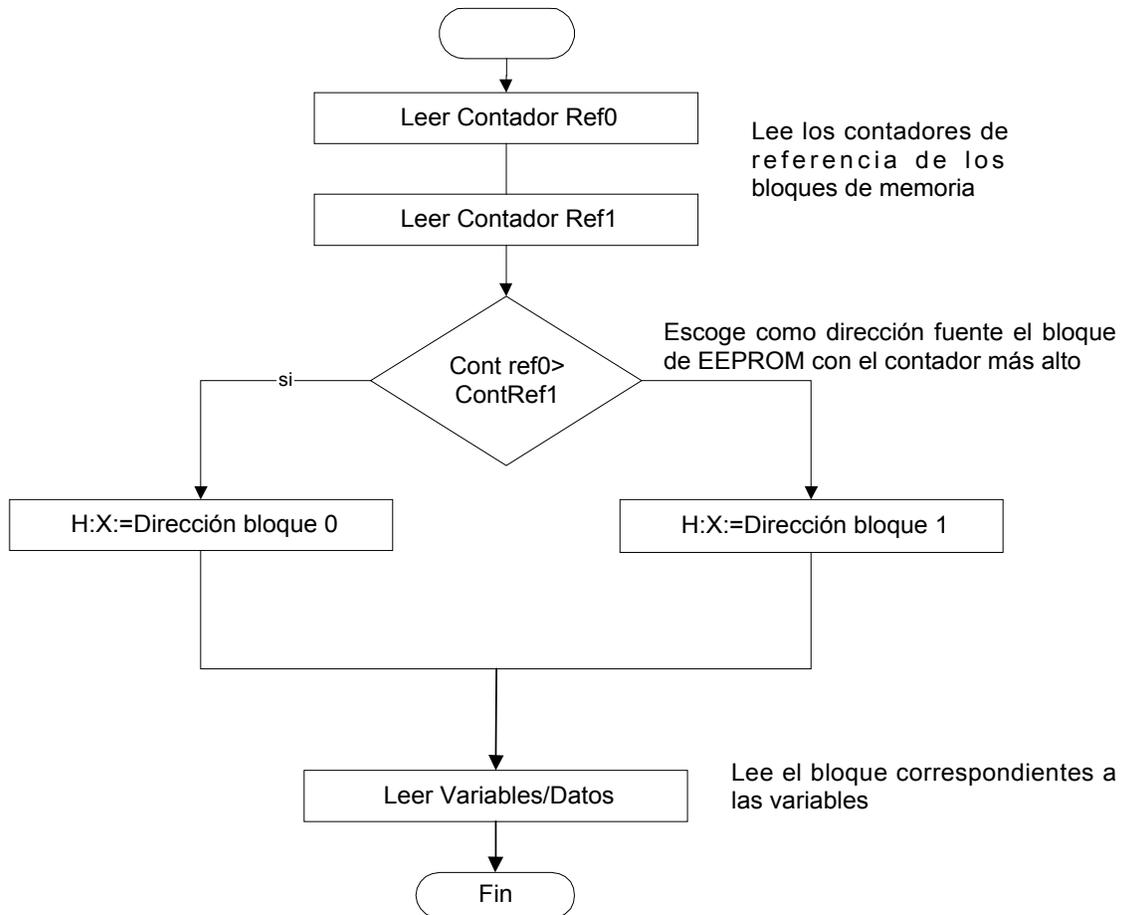


Figura 5.22 Diagrama de flujo general de la rutina encargada de leer los valores de las variables registradas en el microcontrolador del módulo de control antes del último corte de alimentación.

Rutina para leer valores actuales de las temperaturas y el voltaje de alimentación.

Al igual que con la rutina dedicada a programar datos en flash EEPROM, para esta función, se utilizan las rutinas ya programadas en el microcontrolador del módulo de control, definidas para el muestreo de la línea de alimentación y de la temperatura en ambas cámaras.

Similarmente, al caso anterior, se descarga una subrutina que se encarga de llamar a dichas rutinas, las cuales actualizan el contenido de las variables deseadas, luego, dichas variables son leídas por el módulo de diagnóstico, para su posterior visualización.

Rutina para variar los valores de los rangos de operación.

Los valores que se pueden modificar son los valores efectivos máximos y mínimos del voltaje de operación del equipo, así como los valores límites de los tres posibles rangos de temperaturas para cada cámara.

Como primer paso, se lee el bloque de los valores actuales programados de voltaje y temperatura en el microcontrolador B. El usuario decide que parámetros desea cambiar, ya sea el rango de voltaje de alimentación o alguno de los rangos de temperatura.

Una vez hecha esta elección se despliegan los valores actuales correspondientes al rango elegido (temperatura o voltaje de alimentación), y se definen por parte del usuario los nuevos valores.

La modificación de los parámetros, se realiza inicialmente en el bloque de datos residentes en RAM del microcontrolador del módulo de diagnóstico. Es este bloque de RAM conteniendo las modificaciones realizadas el que se programa en flash EEPROM, del módulo de control.

El bloque de RAM del módulo de diagnóstico, se descarga a RAM del microcontrolador B, luego se descarga la rutina encargada de programar la memoria flash EEPROM y se ejecuta la misma.

Un diagrama de flujo general se presenta en la figura 5.23.

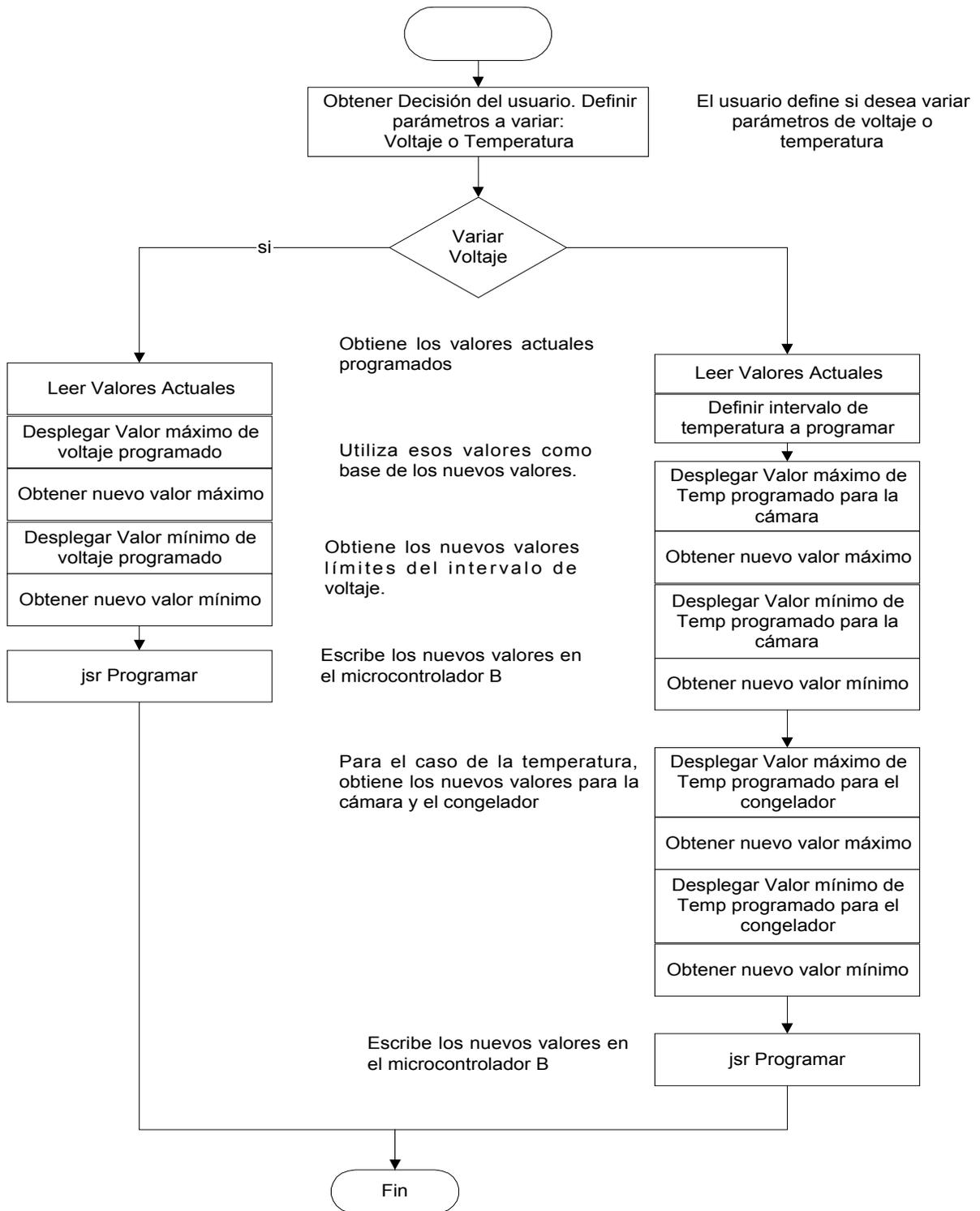


Figura 5.23 Diagrama de flujo general para la variación de parámetros de operación.

5.2.3.2 Rutinas interfaz con el usuario

Las rutinas de interfaz con el usuario, comprenden básicamente la visualización de datos almacenados en memoria, el despliegue de menús y opciones al usuario, para que este decida la operación a realizar.

Éstas rutinas obtienen las decisiones del usuario, y los datos que este desee ingresar.

No se presenta un diagrama de flujo de los menús y la forma en que estos son desplegados, sino que se presenta en la figura 5.24 un esquema de los mismos y los resultados que el usuario recibe ante una determinada elección.

Se definen dos opciones iniciales, correspondientes a la visualización de parámetros y la variación de los mismos.

Dentro de la variación de parámetros es posible, variar el rango de voltaje de alimentación en el cual el equipo puede operar y también los valores límites para cada rango posible de temperatura.

Una vez que el usuario escoge variar cualquiera de estos valores, se despliegan los valores actuales programados y se obtienen los nuevos valores.

En la opción de visualizar los parámetros, es posible realizar esta operación con los valores actuales de la temperatura de cada cámara y del voltaje de alimentación del equipo, así como con los valores registrados de estas variables antes de que se produjese la última desconexión del equipo. En este caso, se presentan primeramente los voltajes a los que estuvo expuesto el equipo seguido por los valores de temperaturas registrados en ambas cámaras.

Para navegar a través de los menús, y para modificar valores de las variables, el usuario utiliza el teclado conformado por los interruptores de pulso, descritos en la sección 5.2.2.

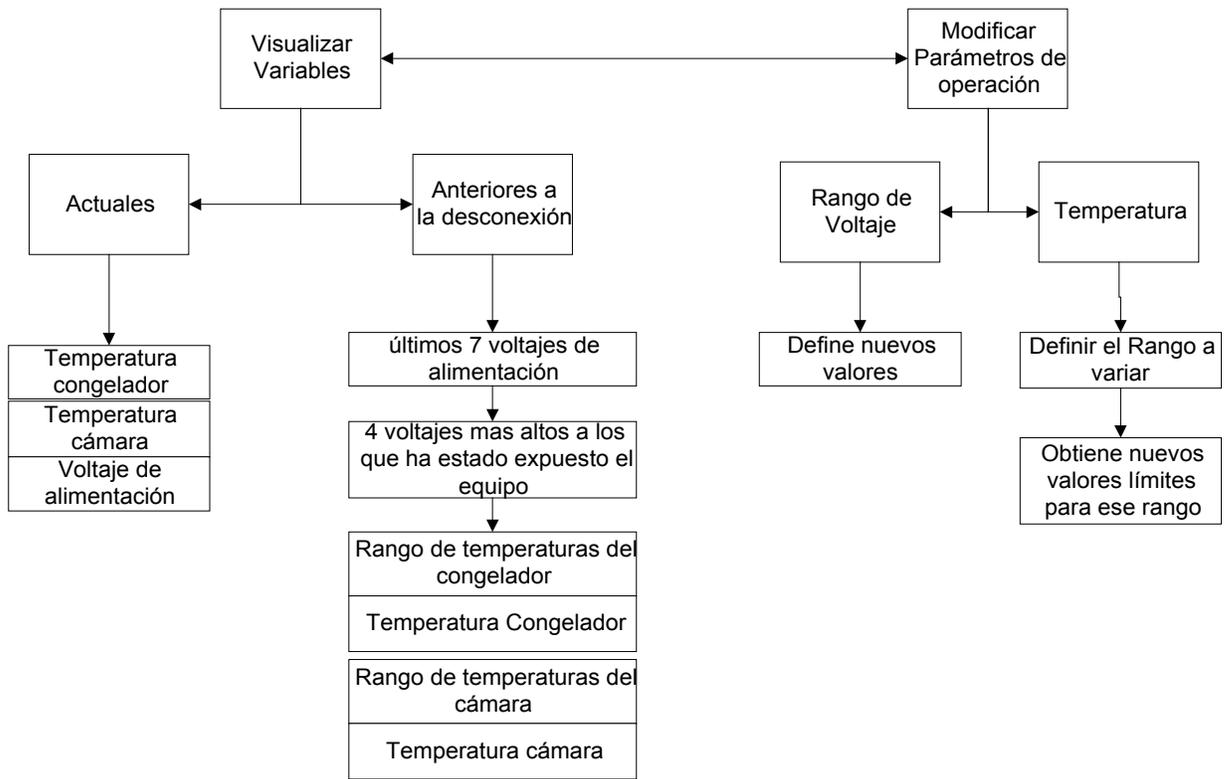


Figura 5.24 Esquema de menús del módulo de diagnóstico.

5.3 ESPECIFICACIONES

5.3.1 Módulo de control

El módulo de control es capaz de:

1. Realizar el monitoreo de la temperatura de ambas cámaras.
2. Controlar la temperatura de ambas cámaras.
3. Registrar las últimas temperaturas sensadas en ambas cámaras antes de la suspensión del suministro de energía eléctrica.
4. Monitorear la línea de alimentación 110 VAC.
5. Detectar voltajes de alimentación fuera del intervalo de valores definido por la empresa cliente para el equipo refrigerador.
6. Realizar la desconexión del compresor ante voltajes de alimentación fuera de rango definido por la empresa cliente.
7. Registrar los voltajes de alimentación a los que se expuso el equipo antes de que se produjese el corte en el suministro de energía eléctrica.
8. Alertar al usuario del refrigerador de problemas asociados con el estado de la puerta.
9. Comunicarse con el módulo diagnóstico y transmitir los datos almacenados de temperaturas y voltajes

5.3.2 Módulo de diagnóstico

Al conectarse al módulo de control, el módulo de diagnóstico es capaz de:

1. Obtener y desplegar los voltajes de alimentación a los que estuvo expuesto el módulo de control antes del corte de alimentación.
2. Obtener y desplegar las temperaturas registradas en ambas cámaras del equipo refrigerador antes del corte de alimentación.
3. Realizar la variación de los valores límites de los rangos de temperatura, definidos para las cámaras del equipo de refrigeración.
4. Realizar la variación de los valores límites del rango de voltaje de alimentación permitido para la operación del equipo.
5. Obtener y desplegar las temperaturas actuales de ambas cámaras del refrigerador, así como el voltaje de alimentación actual.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar, a nivel de hardware y software, un sistema electrónico basado en el uso de microcontroladores, el cual sea capaz de realizar las operaciones de:

- a. Monitoreo y control de temperatura de las cámaras del refrigerador requeridas.
- b. Protección del equipo contra voltajes de alimentación no adecuados, así como registro y visualización de los voltajes a los que éste ha estado expuesto.
- c. Resguardo de tiempo de espera del compresor.
- d. Alertar al usuario del refrigerador de problemas asociados con el estado de la puerta.
- e. Ajuste, variación y visualización en campo, de los parámetros de operación del equipo.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

6.2.1 Módulo de control

6.2.1.1 *Objetivos hardware*

1. Diseñar etapas de hardware, que permitan:
 - 1.1. Sensar la temperatura de ambas cámaras del refrigerador.
 - 1.2. Sensar el voltaje de alimentación.
 - 1.3. Manejar cargas AC.
 - 1.4. Sensar el estado de la puerta.
2. Elaborar un prototipo que integre las etapas anteriormente diseñadas.

6.2.1.2 *Objetivos de software*

Diseñar e implementar el software del microcontrolador del módulo de control, que permita al mismo:

1. Realizar el monitoreo de temperatura.
2. Realizar el monitoreo del voltaje de alimentación.
3. Almacenar en memoria no volátil las variables de temperatura y voltaje de alimentación registradas antes de la desconexión del sistema.
4. Manejar las cargas AC en base al estado de las variables de entrada del sistema.
5. Manejar la alarma visual que informe al usuario el estado de la puerta.

6.2.2 Módulo de diagnóstico

6.2.2.1 Objetivos de Hardware

1. Diseñar una etapa de interfaz con el usuario, que permita:
 - 1.1. Ingreso de datos por parte del mismo.
 - 1.2. Obtención de decisiones y selecciones del usuario.
 - 1.3. Mostrar al usuario la información solicitada por él.
2. Diseñar una etapa de interfaz con el microcontrolador del módulo de control que permita:
 - 2.1. Obtener información de las variables registradas en este módulo tanto anteriores a la desconexión como actuales.
 - 2.2. Variar los rangos de operación de las variables de temperatura y voltaje de alimentación programados en dicho módulo.
3. Implementar un prototipo que integre las dos interfaces anteriores.

6.2.2.2 *Objetivos de software*

1. Diseñar e implementar el software del microcontrolador de este módulo que permita:
 - 1.1. Trasmistir datos en forma serial.
 - 1.2. Obtener los valores de las variables anteriores al corte de alimentación eléctrica, registrados en el módulo de control.
 - 1.3. Realizar lectura de los valores actuales de las variables de temperatura y voltaje de alimentación del módulo de control.
 - 1.4. Variar los parámetros de operación de temperatura y voltaje de alimentación del módulo de control.
 - 1.5. Desplegar menús además de obtener información y datos ingresados por el usuario.

7. METODOLOGÍA

7.1 DESARROLLO DEL HARDWARE MÓDULO DE CONTROL

7.1.1 Análisis de diseños anteriores

Para el módulo de control se consideraron los diseños existentes en la empresa para el control y monitoreo de temperatura, por lo que se hizo un estudio y análisis de estos para tomarlos como punto de partida.

7.1.2 Realizar el diseño de las etapas requeridas

Se realizó el diseño de las etapas de hardware necesarias para sensor temperatura y voltaje de alimentación, así como el estado de la puerta del refrigerador. Además se diseñaron las etapas para la obtención de la alimentación y el manejo de las salidas del sistema.

Se elaboró el esquemático del diseño realizado.

7.1.3 Selección de componentes

A partir del diseño anterior, se determinaron los componentes requeridos. Al haberse definidos los mismos, se corroboró que el costo total del diseño no superase los límites definidos, y se realizaron las modificaciones para lograr cumplir con las especificaciones requeridas en el diseño y que permitieran obtener el costo deseado.

7.1.4 Elaboración del prototipo.

Se realizó el diseño del circuito impreso en base al diseño de hardware realizado. Cuando el diseño del circuito impreso se terminó, este fue revisado por el personal de control de calidad de la empresa, para determinar si cumplía con los requerimientos y estándares para producción masiva (por ejemplo distancias entre patas, separación entre pistas, etc.), para luego ser realizado en el laboratorio de la empresa y así obtener la tarjeta de circuito impreso.

7.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MÓDULO DE CONTROL

7.2.1 Desarrollo de las rutinas para las funciones del módulo

Se definieron las rutinas de software básicas para la operación del módulo de control y la función de cada una, tomando en cuenta las funciones que el módulo debe realizar, definidas en la sección de especificaciones.

Tales rutinas se definieron en forma tal que fueran completamente modulares, y cubrieran todas las funciones propias del módulo de control.

Una vez definidas las rutinas básicas, se procedió a realizar el algoritmo para cada una de ellas, así también se determinó el algoritmo general para la operación del módulo, es decir el algoritmo correspondiente a la rutina principal de operación que realiza el llamado a las rutinas básicas, en el orden y prioridad adecuadas.

Se verificó el adecuado funcionamiento de cada rutina, para ello a cada una se le realizaron pruebas por separado bajo condiciones controladas, con entradas que emularan las entradas reales cuando no se pudieron utilizar las mismas.

Como consecuencia de las pruebas se generaron correcciones y/o mejoras que se incluyeron dentro de los algoritmos de las rutinas que así lo requirieron.

Como parte del desarrollo del software de éste módulo, se obtuvo en forma experimental, la curva voltaje vs temperatura del arreglo termistor-resistencia utilizado para sensor temperatura.

7.2.2 Verificar la funcionabilidad del software y hardware del módulo de control

Una vez que se desarrolló el software y hardware del módulo de control, se realizaron las pruebas para la depuración de este módulo que permitieron determinar errores y fallas, para poder hacer las correcciones de hardware y/o software necesarias para llevar al módulo a un funcionamiento adecuado, en el cual realizase todas las funciones especificadas.

Las pruebas realizadas se orientaron a verificar las funciones de este módulo:

- Control efectivo de la temperatura de ambas cámaras.
- Desconexión del compresor ante voltajes de alimentación no adecuados, fuera del rango definido.
- Registro de los valores de temperaturas y voltaje de alimentación anteriores a la desconexión del equipo.
- Manejo adecuado del compresor de acuerdo al valor de las variables
- Indicación de problema en la puerta a través de la alarma visual.

7.3 DESARROLLO DEL HARDWARE DEL MÓDULO DE DIAGNÓSTICO

Se procedió en forma similar al desarrollo del hardware del módulo de control. Sin embargo, no se contaba con diseños anteriores para tomar como punto de partida en este módulo.

7.3.1 Diseño de las etapas requeridas

Se diseñaron las etapas de hardware necesarias, estas son, básicamente, la interfaz con el usuario y la interfaz con el módulo de control. La interfaz con el usuario consta de un módulo para visualizar datos y presentar menús al usuario. Igualmente permite obtener del usuario las decisiones y los datos que este desee ingresar.

La interfaz con el módulo de control, constituye básicamente una interfaz serie, para la recepción y transmisión de los datos.

Una vez realizado el diseño de ambas interfaces, se elaboró el esquemático del diseño realizado.

7.3.2 Selección de componentes

Al igual que con el módulo de control, una vez realizado el diseño se determinaron los componentes requeridos para este módulo.

7.3.3 Elaboración del prototipo

Se realizó un PCB (tarjeta de circuito impreso) de este módulo, en base al diseño ya realizado. El proceso seguido es el mismo que se citó para el módulo de control.

7.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL MÓDULO DE CONTROL

7.4.1 Desarrollo de rutinas de interfaz con el usuario

Considerando las operaciones de interfaz con el usuario y los componentes que el módulo de diagnóstico debe tener para tal fin (teclado, display), y las características del microcontrolador, se definieron las rutinas necesarias para el adecuado manejo de esta interfaz. Estas rutinas permiten el despliegue de menús, aceptación de comandos, despliegue de datos correspondientes a la información obtenida del módulo de control y la transmitida al mismo.

Una vez definidas estas rutinas, se procedió a definir el algoritmo y posteriormente se desarrollaron las mismas en lenguaje ensamblador.

Cuando las rutinas se terminaron de desarrollar, se realizaron las pruebas necesarias para determinar errores en las mismas. Las pruebas evaluaron la adecuada navegación por las opciones, verificando que se muestren al usuario las opciones adecuadas y en el orden respectivo, de acuerdo a las decisiones que este haya ingresado.

7.4.2 Desarrollo de rutinas de interfaz con el módulo de control

Se desarrolló el algoritmo para las rutinas que permiten a este módulo la obtención de las variables de temperatura y voltaje de alimentación del módulo de control, así como la variación de los parámetros de operación.

Luego de definir el algoritmo para estas rutinas, se implementó el mismo y se realizaron pruebas para verificar que se obtuviesen y que se escribieran los datos adecuados en las direcciones adecuadas.

7.5 VERIFICACIÓN DE LA ADECUADA FUNCIÓN CONJUNTA DE AMBOS MÓDULOS

Una vez desarrollado el software de cada módulo, se realizaron las pruebas para lograr depurar y encontrar las fallas en el funcionamiento conjunto de los módulos. Estas pruebas se enfocaron a la verificación del funcionamiento adecuado de la comunicación entre módulos, a la adecuada realización de las rutinas de visualización, y modificación de los parámetros de operación del refrigerador.

El propósito de las pruebas fue el de encontrar posibles fallas para realizar las correcciones necesarias y llevar a los módulos a un funcionamiento adecuado.

8. CRONOGRAMA

En el cronograma planteado considera las actividades presentadas en el capítulo de metodología. El cronograma se presenta en la tabla 8.1. Las gráficas de GANT y PERT asociadas a esta tabla se presentan en las figuras 8.1 y 8.2, respectivamente.

Tabla 8.1 Cronograma de actividades.

Actividad	Descripción	Duración (Semanas)	Inicio (día/mes)	Finalización (día/mes)
1	Estudio de los diseños existentes y del microcontrolador a usar.	1	12/2	16/2
2	Diseño de las etapas de hardware para el módulo de control y selección de componentes.	3	19/2	9/3
3	Elaboración de un prototipo para el módulo de control.	1	2/4	6/4
4	Desarrollo de las rutinas de software para las funciones del módulo de control.	4	12/3	6/4
5	Evaluar el funcionamiento del módulo de control.	2	16/4	27/4
6	Diseño del hardware del módulo de diagnóstico y selección de componentes	3	19/2	9/3
7	Elaboración de un prototipo para el módulo de diagnóstico.	1	16/4	27/4
8	Desarrollo del software del mod. de diagnóstico para interfaz con el usuario.	2	30/4	11/5
9	Desarrollo del software del módulo de diagnóstico para interfaz con el módulo de control.	3	14/5	1/6
10	Realizar pruebas conjuntas a ambos módulos.	1	4/6	8/6

Proyecto de graduación
 Sistema de control y ajuste para un refrigerador de uso doméstico

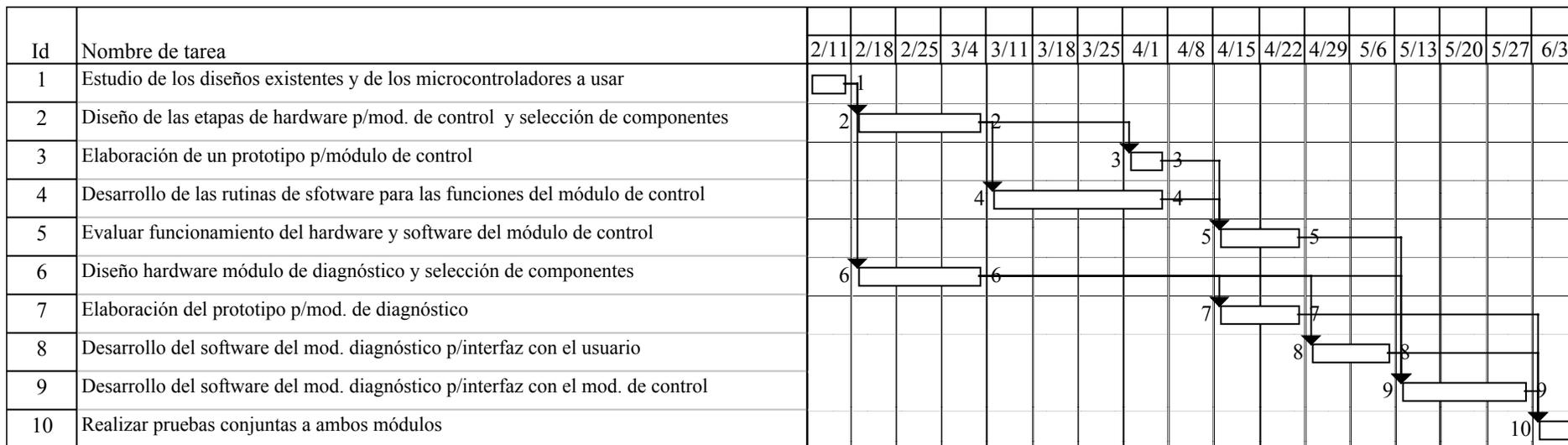


Figura 8.1 Gráfica de GANT.

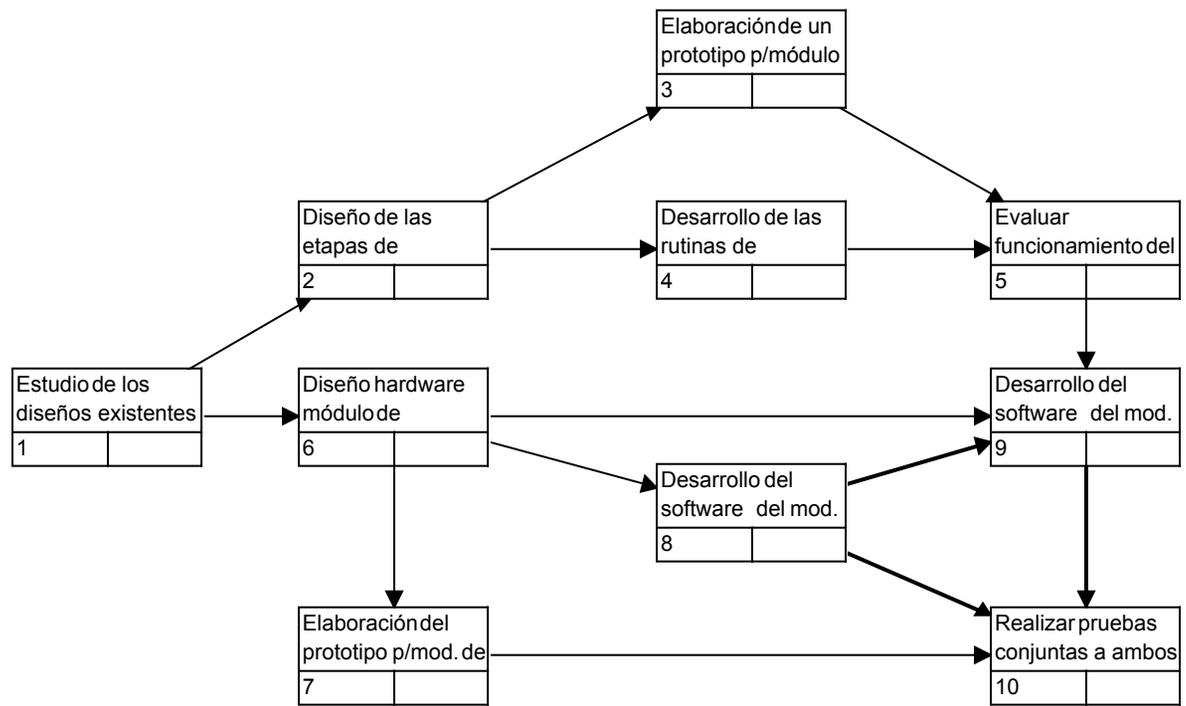


Figura 8.2 Gráfica de PERT

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Motorola. s.f. MC68HC908JK1, MC68HRC908JK1, MC68HC908JK3, MC68HRC908JK3, MC68HC908JL3, MC68HRC908JL3 HCMOS Microcontroller unit Technical data (en línea). Rev. 10 ene 1999. Consultado en febrero, 2001. Disponible en http://e-www.motorola.com/brdata/PDFDB/MICROCONTROLLERS/8-BIT/68HC08_FAMILY/DATABOOK/MC68HC908JL3.pdf
2. Sarro, D. How a Refrigerator works (en línea). Consultado en marzo 2001. Disponible en http://occ.awlonline.com/bookbind/pubbooks/gurakconcise_lp/chapter13/medialib/refrige.htm
3. Whitacre, G. 1999. Application Note 1831. Using MC68HC908 On-Chip FLASH Programming Routines (en línea). Texas, US. Motorola. Rev. 11 sep. 2000. Consultado en marzo 2001 . Disponible en http://e-www.motorola.com/brdata/PDFDB/MICROCONTROLLERS/8-BIT/68HC08_FAMILY/AN_EB/AN1831.pdf

APÉNDICE A. HOJA DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Información del estudiante:

Nombre: Joel D. Muñoz Nicaragua.

Cédula: 8 – 072 – 684.

Dirección de su residencia en época lectiva: Residencial Cartago 2000, Casa 21-C, La lima, Cartago.

Dirección de su residencia en época no lectiva: Misma anterior.

Teléfono en época lectiva: 591-7035 **Teléfono en época lectiva:** 591-7035

E-Mail: jdmunoz@racsa.co.cr.

Información del proyecto:

Nombre del proyecto: Sistema de control y ajuste para un refrigerador de uso doméstico.

Área del proyecto: Sistemas Digitales.

Información de la empresa:

Nombre: Camtronics S.A.

Zona: Cartago, El Guarco.

Dirección: Parque Industrial de Cartago, Avenida las Américas.

Teléfono: 573 – 7366.

Fax: 573-7225.

Apartado:

PO BOX 20-7052

Cartago, Costa Rica.

Actividad Principal: Procesos de manufactura por contrato.

Información del encargado en la empresa:

Nombre Completo: Ing. Enrique Ortiz.
Puesto que ocupa: Gerente General.
Departamento: Gerencia General.
Profesión: Ingeniero en Electrónica.
Teléfono: 573-7366.
E-Mail: camtroni@racsa.co.cr.

Información de la empresa que recibe el servicio:

La empresa Camtronics S.A., decidió no suministrar información referente a la identidad de la empresa cliente, con el fin de proteger sus intereses (de Camtronics S.A.), el estudiante se limita a respetar esta disposición.

**ANEXO A. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MICROCONTROLADOR Y
DEL MODO MONITOR DEL MISMO.**

La información presentada como anexo, fue tomada de:

Motorola. s.f. MC68HC908JK1, MC68HRC908JK1, MC68HC908JK3, MC68HRC908JK3, MC68HC908JL3, MC68HRC908JL3 HCMOS Microcontroller unit Technical data (en línea). Rev. 10 ene 1999. Consultado en febrero, 2001. Disponible en http://e-www.motorola.com/brdata/PDFDB/MICROCONTROLLERS/8-BIT/68HC08_FAMILY/DATABOOK/MC68HC908JL3.pdf

Section 1. General Description

1.1 Contents

1.2	Introduction.....	21
1.3	Features.....	22
1.4	MCU Block Diagram.....	23
1.5	Pin Assignments.....	25
1.6	Pin Functions.....	26

1.2 Introduction

The MC68H(R)C908JL3 is a member of the low-cost, high-performance M68HC08 Family of 8-bit microcontroller units (MCUs). The M68HC08 Family is based on the customer-specified integrated circuit (CSIC) design strategy. All MCUs in the family use the enhanced M68HC08 central processor unit (CPU08) and are available with a variety of modules, memory sizes and types, and package types.

Table 1-1. Summary of Device Variations

Device	FLASH Memory Size	Pin Count
MC68H(R)C908JL3	4096 bytes	28 pins
MC68H(R)C908JK3	4096 bytes	20 pins
MC68H(R)C908JK1	1536 bytes	20 pins

All references to the MC68H(R)C908JL3 in this data book apply equally to the MC68H(R)C908JK3 and MC68H(R)C908JK1, unless otherwise stated.

1.3 Features

Features of the MC68H(R)C908JL3 include the following:

- High-performance M68HC08 architecture
- Fully upward-compatible object code with M6805, M146805, and M68HC05 Families
- Low-power design; fully static with stop and wait modes
- 5V and 3V operating voltages
- 8MHz internal bus operation
- RC-oscillator circuit or crystal-oscillator options
- In-system FLASH programming
- FLASH security¹
- User FLASH memory
 - 4096 bytes for MC68H(R)C908JL3/JK3
 - 1536 bytes for MC68H(R)C908JK1
- 128 bytes of on-chip random-access memory (RAM)
- 2-channel, 16-bit timer interface module (TIM)
- 12-channel, 8-bit analog-to-digital converter (ADC)
- 23 general purpose I/O ports for MC68H(R)C908JL3:
 - 7 keyboard interrupt with internal pull-up
 - 10 LED drivers
 - 2 × 25mA open-drain I/O with pull-up
 - 2 ICAP/OCAP/PWM
- 15 general purpose I/O ports for MC68H(R)C908JK3/JK1:
 - 1 keyboard interrupt with internal pull-up (with RC oscillator option selected)
 - 4 LED drivers
 - 2 × 25mA open-drain I/O with pull-up
 - 2 ICAP/OCAP/PWM

1. No security feature is absolutely secure. However, Motorola's strategy is to make reading or copying the FLASH difficult for unauthorized users.

- System protection features:
 - Optional computer operating properly (COP) reset
 - Optional low-voltage detection with reset and selectable trip points for 3V and 5V operation.
 - Illegal opcode detection with reset
 - Illegal address detection with reset
- Master reset pin with internal pull-up and power-on reset
- $\overline{\text{TRQ}}\text{T}$ with programmable pull-up and schmitt-trigger input
- 28-pin PDIP and 28-pin SOIC packages for MC68H(R)C908JL3
- 20-pin PDIP and 20-pin SOIC packages for MC68H(R)C908JK3/JK1

Features of the CPU08 include the following:

- Enhanced HC05 programming model
- Extensive loop control functions
- 16 addressing modes (eight more than the HC05)
- 16-bit index register and stack pointer
- Memory-to-memory data transfers
- Fast 8×8 multiply instruction
- Fast 16/8 divide instruction
- Binary-coded decimal (BCD) instructions
- Optimization for controller applications
- Efficient C language support

1.4 MCU Block Diagram

Figure 1-1 shows the structure of the MC68H(R)C908JL3.

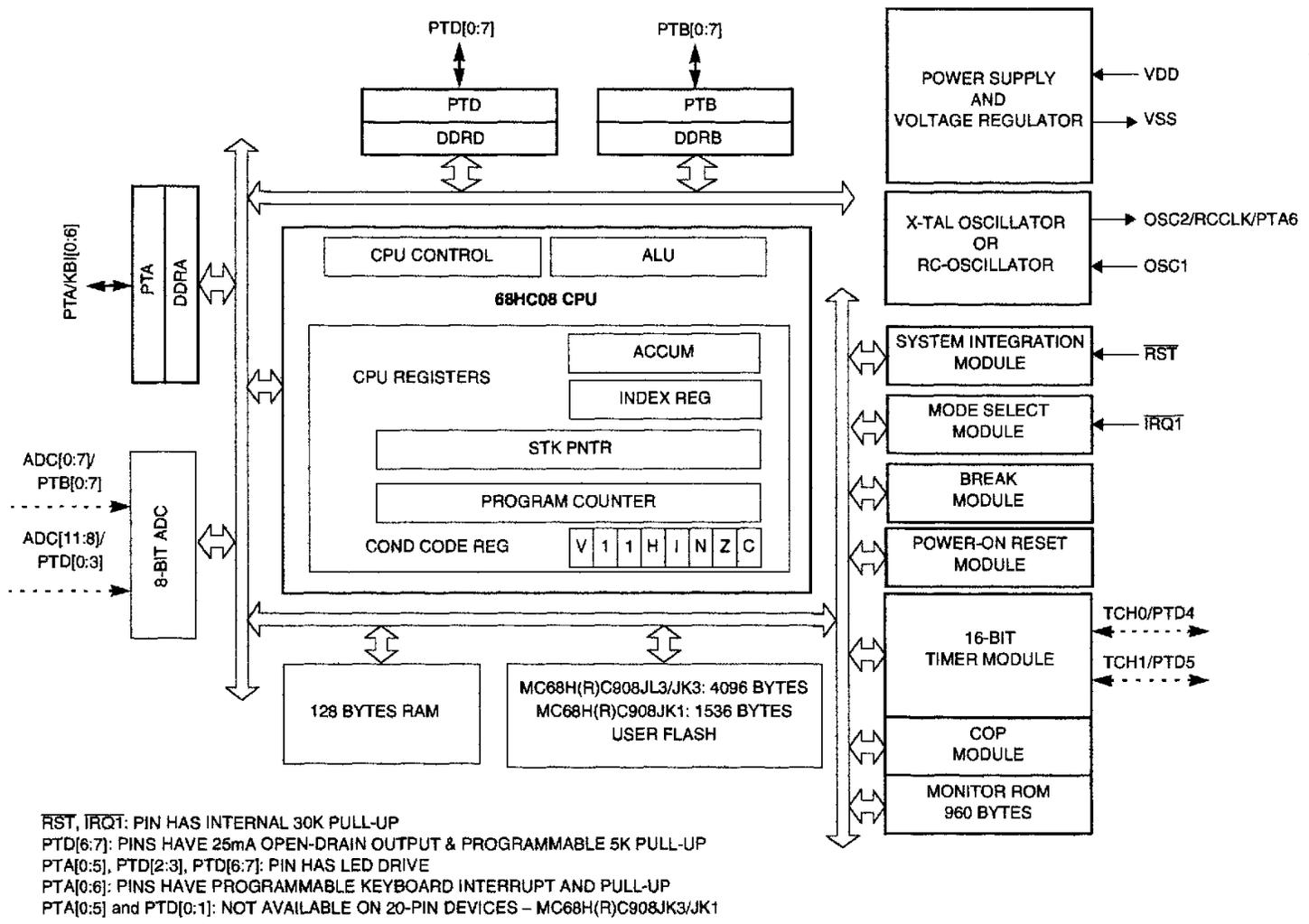
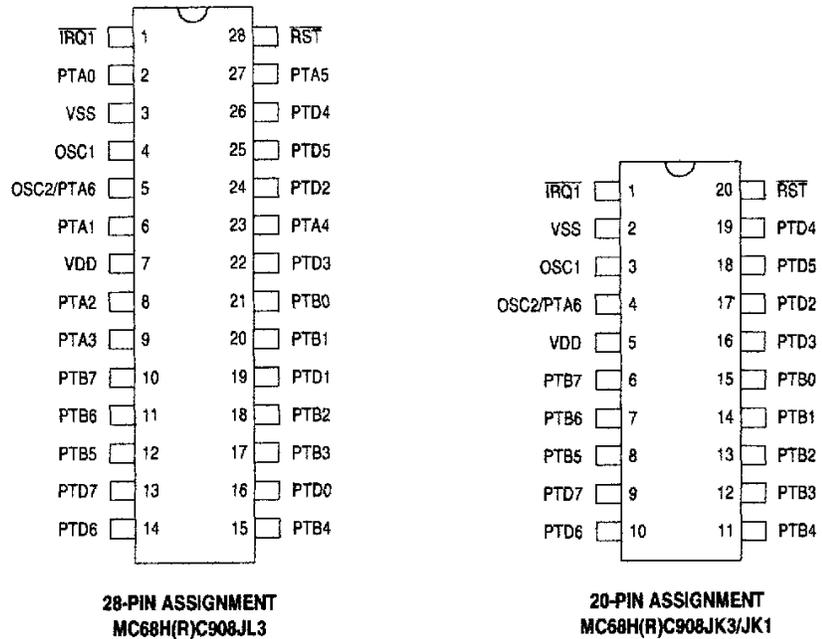


Figure 1-1. MCU Block Diagram

1.5 Pin Assignments

The MC68H(R)C908JL3 is available in 28-pin packages and the MC68H(R)C908JK3/JK1 in 20-pin packages. **Figure 1-2** shows the pin assignment for the two packages.



Pins not bonded out on 20-pin package:
PTA0, PTA1, PTA2, PTA3, PTA4, PTA5,
PTD0, PTD1.

Figure 1-2. MCU Pin Assignments

General Description

1.6 Pin Functions

Description of the pin functions are provided in **Table 1-2**.

Table 1-2. Pin Functions

PIN NAME	PIN DESCRIPTION	IN/OUT	VOLTAGE LEVEL
VDD	Power supply.	In	5V or 3V
VSS	Power supply ground	Out	0V
$\overline{\text{RST}}$	RESET input, active low. With internal pull-up and schmitt trigger input.	Input	VDD
$\overline{\text{IRQ1}}$	External IRQ pin. With software programmable internal pull-up and schmitt trigger input. This pin is also used for mode entry selection.	Input	VDD to VDD+V _{HI}
OSC1	X-tal or RC oscillator input.	In	Analog
OSC2	For X-tal oscillator option: X-tal oscillator output, this is the inverting OSC1 signal.	Out	Analog
	For RC oscillator option: Default is RCCLK output. Shared with PTA6/KBI6, with programmable pull-up.	In/Out	VDD
PTA[0:6]	7-bit general purpose I/O port.	In/Out	VDD
	Shared with 7 keyboard interrupts KBI[0:6].	In	VDD
	Each pin has programmable internal pull-up device.	In	VDD
PTB[0:7]	8-bit general purpose I/O port.	In/Out	VDD
	Shared with 8 ADC inputs, ADC[0:7].	In	Analog
PTD[0:7]	8-bit general purpose I/O port.	In/Out	VDD
	PTD[3:0] shared with 4 ADC inputs, ADC[8:11].	Input	Analog
	PTD[4:5] shared with TIM channels, TCH0 and TCH1.	In/Out	VDD
	PTD[6:7] can be configured as 25mA open-drain output with pull-up.	In/Out	VDD

NOTE: On the 20-pin package, the following pins are not available:
PTA0, PTA1, PTA2, PTA3, PTA4, PTA5, PTD0, and PTD1.

Section 9. Monitor ROM (MON)

9.1 Contents

9.2	Introduction	101
9.3	Features	102
9.4	Functional Description	102
9.4.1	Entering Monitor Mode	104
9.4.2	Baud Rate	107
9.4.3	Data Format	108
9.4.4	Echoing	108
9.4.5	Break Signal	109
9.4.6	Commands	109
9.5	Security	113

9.2 Introduction

This section describes the monitor ROM (MON) and the monitor mode entry methods. The monitor ROM allows complete testing of the MCU through a single-wire interface with a host computer. This mode is also used for programming and erasing of FLASH memory in the MCU. Monitor mode entry can be achieved without use of the higher test voltage, $V_{DD} + V_{HI}$, as long as vector addresses \$FFFE and \$FFFF are blank, thus reducing the hardware requirements for in-circuit programming.

9.3 Features

Features of the monitor ROM include the following:

- Normal user-mode pin functionality
- One pin dedicated to serial communication between monitor ROM and host computer
- Standard mark/space non-return-to-zero (NRZ) communication with host computer
- Execution of code in RAM or FLASH
- FLASH memory security feature¹
- FLASH memory programming interface
- 960 bytes monitor ROM code size
- Monitor mode entry without high voltage, $V_{DD} + V_{HI}$, if reset vector is blank (\$FFFE and \$FFFF contain \$FF)
- Standard monitor mode entry if high voltage, $V_{DD} + V_{HI}$, is applied to $\overline{TRQ1}$

9.4 Functional Description

The monitor ROM receives and executes commands from a host computer. **Figure 9-1** shows an example circuit used to enter monitor mode and communicate with a host computer via a standard RS-232 interface.

Simple monitor commands can access any memory address. In monitor mode, the MCU can execute host-computer code in RAM while most MCU pins retain normal operating mode functions. All communication between the host computer and the MCU is through the PTB0 pin. A level-shifting and multiplexing interface is required between PTB0 and the host computer. PTB0 is used in a wired-OR configuration and requires a pull-up resistor.

1. No security feature is absolutely secure. However, Motorola's strategy is to make reading or copying the FLASH difficult for unauthorized users.

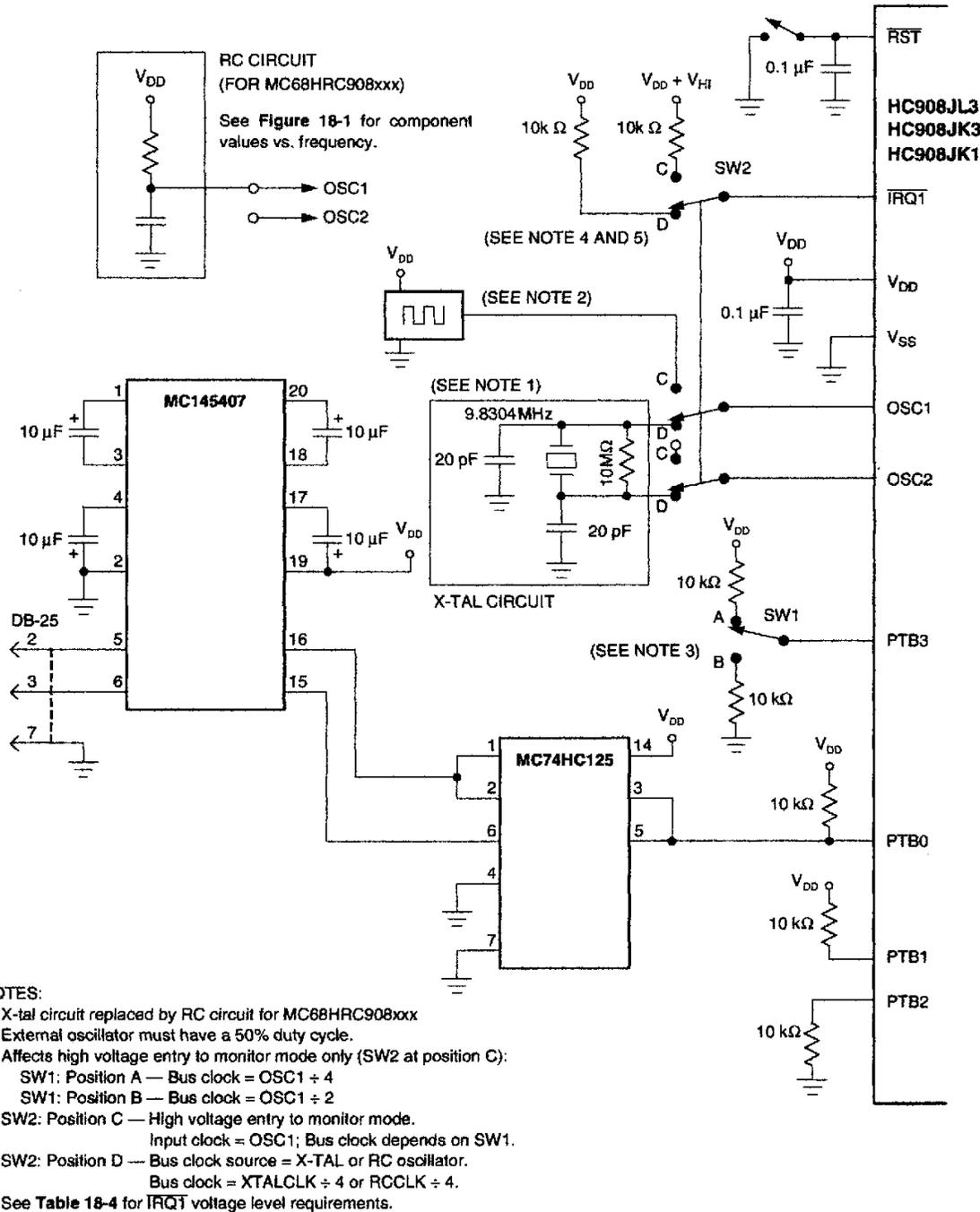


Figure 9-1. Monitor Mode Circuit

Monitor ROM (MON)

9.4.1 Entering Monitor Mode

Table 9-1 shows the pin conditions for entering monitor mode. As specified in the table, monitor mode may be entered after a POR and will allow communication at 9600 baud provided one of the following sets of conditions is met:

1. If $\overline{TRQ1} = V_{DD} + V_{HI}$:
 - External clock on OSC1 is 4.9125MHz
 - PTB3 = low
2. If $\overline{TRQ1} = V_{DD} + V_{HI}$:
 - External clock on OSC1 is 9.8304MHz
 - PTB3 = high
3. If \$FFFE & \$FFFF is blank (contains \$FF):
 - The oscillator clock is 9.8304MHz (X-tal or RC)
 - $\overline{TRQ1} = V_{DD}$

Table 9-1. Monitor Mode Entry Requirements and Options

TRQ1	\$FFFE and \$FFFF	PTB3	PTB2	PTB1	PTB0	Clock Source and Frequency	Bus Frequency	Comments
$V_{DD} + V_{HI}$	X	0	0	1	1	OSC1 at 4.9152MHz	2.4576MHz	Bypasses X-tal or RC oscillator; external clock driven directly into OSC1.
$V_{DD} + V_{HI}$	X	1	0	1	1	OSC1 at 9.8304MHz	2.4576MHz	9600 baud communication on PTB0. COP disabled.
V_{DD}	BLANK (contain \$FF)	X	X	X	1	X-tal or RC oscillator at 9.8304MHz	2.4576MHz	Low-voltage entry to monitor mode. 9600 baud communication on PTB0. COP disabled.
V_{DD}	NOT BLANK	X	X	X	X	X-tal or RC oscillator at desired frequency	XTALCLK ÷ 4 or RCCLK ÷ 4	Enters User mode. If \$FFFE and \$FFFF is blank, MCU will encounter an illegal address reset.
Notes: 1. PTB3 = 0: Bypasses the divide-by-two prescaler to SIM when using $V_{DD} + V_{HI}$ for monitor mode entry. The OSC1 clock must be 50% duty cycle for this condition. 2. XTALCLK is the X-tal oscillator output, for MC68HC908xxx. See Figure 8-1. 4. RCCLK is the RC oscillator output, for MC68HRC908xxx. See Figure 8-2. 5. See Table 18-4 for $V_{DD} + V_{HI}$ voltage level requirements.								

If $V_{DD} + V_{HI}$ is applied to $\overline{IRQ1}$ and PTB3 is low upon monitor mode entry (**Table 9-1** condition set 1), the bus frequency is a divide-by-two of the external clock input to OSC1. If PTB3 is high with $V_{DD} + V_{HI}$ applied to $\overline{IRQ1}$ upon monitor mode entry (**Table 9-1** condition set 2), the bus frequency is a divide-by-four of the external clock input to OSC1. Holding the PTB3 pin low when entering monitor mode causes a bypass of a divide-by-two stage at the oscillator *only if $V_{DD} + V_{HI}$ is applied to $\overline{IRQ1}$* . In this event, the OSCOUT frequency is equal to the 2OSCOUT frequency, and OSC1 input directly generates internal bus clocks. In this case, the OSC1 signal must have a 50% duty cycle at maximum bus frequency.

Entering monitor mode with $V_{DD} + V_{HI}$ on $\overline{IRQ1}$, the COP is disabled as long as $V_{DD} + V_{HI}$ is applied to either the $\overline{IRQ1}$ or the \overline{RST} . (See **Section 7. System Integration Module (SIM)** for more information on modes of operation.)

If entering monitor mode without high voltage on $\overline{IRQ1}$ and reset vector being blank (\$FFFE and \$FFFF) (**Table 9-1** condition set 3, where applied voltage is V_{DD}), then all port B pin requirements and conditions, including the PTB3 frequency divisor selection, are not in effect. This is to reduce circuit requirements when performing in-circuit programming.

Entering monitor mode with the reset vector being blank, the COP is always disabled regardless of the state of $\overline{IRQ1}$ or the \overline{RST} .

Figure 9-2. shows a simplified diagram of the monitor mode entry when the reset vector is blank and $\overline{IRQ1} = V_{DD}$. An oscillator frequency (XTALCLK or RCCCLK) of 9.8304MHz is required for a baud rate of 9600.

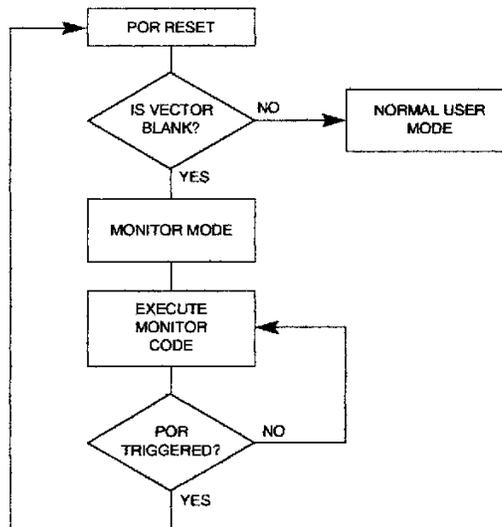


Figure 9-2. Low-Voltage Monitor Mode Entry Flowchart

Enter monitor mode with the pin configuration shown above by pulling $\overline{\text{RST}}$ low and then high. The rising edge of $\overline{\text{RST}}$ latches monitor mode. Once monitor mode is latched, the values on the specified pins can change.

Once out of reset, the MCU waits for the host to send eight security bytes. (See **9.5 Security**.) After the security bytes, the MCU sends a break signal (10 consecutive logic zeros) to the host, indicating that it is ready to receive a command. The break signal also provides a timing reference to allow the host to determine the necessary baud rate.

In monitor mode, the MCU uses different vectors for reset, SWI, and break interrupt. The alternate vectors are in the \$FE page instead of the \$FF page and allow code execution from the internal monitor firmware instead of user code.

Table 9-2 is a summary of the vector differences between user mode and monitor mode.

Table 9-2. Monitor Mode Vector Differences

Modes	Functions						
	COP	Reset Vector High	Reset Vector Low	Break Vector High	Break Vector Low	SWI Vector High	SWI Vector Low
User	Enabled	\$FFFE	\$FFFF	\$FFFC	\$FFFD	\$FFFC	\$FFFD
Monitor	Disabled ⁽¹⁾	\$FEFE	\$FEFF	\$FEFC	\$FEFD	\$FEFC	\$FEFD

Notes:
1. If the high voltage ($V_{DD} + V_{HI}$) is removed from the \overline{IRQT} pin or the \overline{RST} pin, the SIM asserts its COP enable output. The COP is a mask option enabled or disabled by the COPD bit in the configuration register.

When the host computer has completed downloading code into the MCU RAM, the host then sends a RUN command, which executes an RTI, which sends control to the address on the stack pointer.

9.4.2 Baud Rate

The communication baud rate is dependant on oscillator frequency. The state of PTB3 also affects baud rate if entry to monitor mode is by $\overline{IRQT} = V_{DD} + V_{HI}$. When PTB3 is high, the divide by ratio is 1024. If the PTB3 pin is at logic zero upon entry into monitor mode, the divide by ratio is 512.

Table 9-3. Monitor Baud Rate Selection

Monitor Mode Entry By:	Input Clock Frequency	PTB3	Baud Rate
$\overline{IRQT} = V_{DD} + V_{HI}$	4.9152 MHz	0	9600 bps
	9.8304 MHz	1	9600 bps
	4.9152 MHz	1	4800 bps
Blank reset vector, $\overline{IRQT} = V_{DD}$	9.8304 MHz	X	9600 bps
	4.9152 MHz	X	4800 bps

Monitor ROM (MON)

9.4.3 Data Format

Communication with the monitor ROM is in standard non-return-to-zero (NRZ) mark/space data format. (See **Figure 9-3** and **Figure 9-4**.)

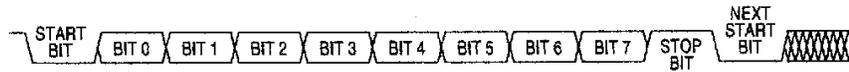


Figure 9-3. Monitor Data Format

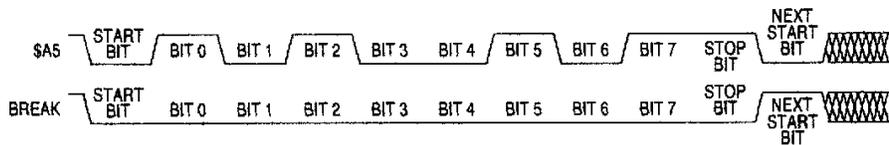


Figure 9-4. Sample Monitor Waveforms

The data transmit and receive rate can be anywhere from 4800 baud to 28.8k-baud. Transmit and receive baud rates must be identical.

9.4.4 Echoing

As shown in **Figure 9-5**, the monitor ROM immediately echoes each received byte back to the PTB0 pin for error checking.

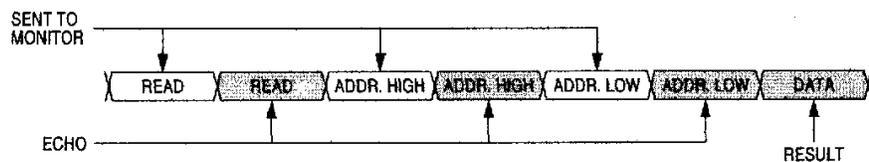


Figure 9-5. Read Transaction

Any result of a command appears after the echo of the last byte of the command.

9.4.5 Break Signal

A start bit followed by nine low bits is a break signal. (See **Figure 9-6.**) When the monitor receives a break signal, it drives the PTB0 pin high for the duration of two bits before echoing the break signal.

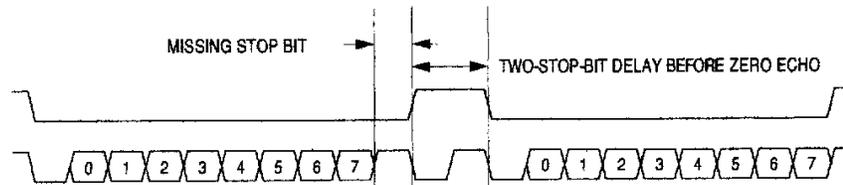


Figure 9-6. Break Transaction

9.4.6 Commands

The monitor ROM uses the following commands:

- READ (read memory)
- WRITE (write memory)
- IREAD (indexed read)
- IWRITE (indexed write)
- READSP (read stack pointer)
- RUN (run user program)

Monitor ROM (MON)

Table 9-4. READ (Read Memory) Command

Description	Read byte from memory
Operand	Specifies 2-byte address in high byte:low byte order
Data Returned	Returns contents of specified address
Opcode	\$4A
<p>Command Sequence</p>	

Table 9-5. WRITE (Write Memory) Command

Description	Write byte to memory
Operand	Specifies 2-byte address in high byte:low byte order; low byte followed by data byte
Data Returned	None
Opcode	\$49
<p>Command Sequence</p>	

Table 9-6. IREAD (Indexed Read) Command

Description	Read next 2 bytes in memory from last address accessed
Operand	Specifies 2-byte address in high byte:low byte order
Data Returned	Returns contents of next two addresses
Opcode	\$1A
<p>Command Sequence</p> <p>The diagram shows a sequence of four data packets: IREAD, IREAD, DATA, and DATA. An arrow labeled 'SENT TO MONITOR' points to the first IREAD packet. An arrow labeled 'ECHO' points to the second IREAD packet. An arrow labeled 'RESULT' points to the second DATA packet.</p>	

Table 9-7. IWRITE (Indexed Write) Command

Description	Write to last address accessed + 1
Operand	Specifies single data byte
Data Returned	None
Opcode	\$19
<p>Command Sequence</p> <p>The diagram shows a sequence of four data packets: IWRITE, IWRITE, DATA, and DATA. An arrow labeled 'SENT TO MONITOR' points to the first IWRITE packet and the first DATA packet. An arrow labeled 'ECHO' points to the second IWRITE packet and the second DATA packet.</p>	

NOTE: A sequence of IREAD or IWRITE commands can sequentially access a block of memory over the full 64-Kbyte memory map.

Monitor ROM (MON)

Table 9-8. READSP (Read Stack Pointer) Command

Description	Reads stack pointer
Operand	None
Data Returned	Returns stack pointer in high byte:low byte order
Opcode	\$0C
<p>Command Sequence</p> <p>The diagram illustrates the command sequence for the READSP command. It shows a sequence of four data packets: READSP, READSP, SP HIGH, and SP LOW. An arrow labeled 'SENT TO MONITOR' points to the first READSP packet. An arrow labeled 'ECHO' points from the second READSP packet back to the user program. An arrow labeled 'RESULT' points from the SP HIGH and SP LOW packets back to the user program.</p>	

Table 9-9. RUN (Run User Program) Command

Description	Executes RTI instruction
Operand	None
Data Returned	None
Opcode	\$28
<p>Command Sequence</p> <p>The diagram illustrates the command sequence for the RUN command. It shows a sequence of two data packets: RUN and RUN. An arrow labeled 'SENT TO MONITOR' points to the first RUN packet. An arrow labeled 'ECHO' points from the second RUN packet back to the user program.</p>	