

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica

Smartech S.A.

**Sistema de control y monitoreo electrónico para sistemas de refrigeración
comercial**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el Grado de Bachiller
en Ingeniería Electrónica**

Carlos Meza Benavides

Cartago, Noviembre del 2001

RESUMEN

En el presente documento se describe el diseño de un sistema de control y monitoreo electrónico para sistemas de refrigeración comercial.

Un sistema de refrigeración comercial es utilizado para almacenar diferentes tipos de mercadería a una temperatura determinada. Un refrigerador comercial presenta los siguientes inconvenientes.

- Consume mucha potencia.
- Es utilizado frecuentemente por muchas personas lo que reduce considerablemente la vida del equipo requiriendo servicio de mantenimiento constantemente.

Es por estas razones que el mantenimiento un equipo de refrigeración comercial es bastante costoso.

El sistema de control y monitoreo electrónico descrito en el presente documento reduce los costos de mantenimiento de los equipos de refrigeración comercial. Esto lo consigue realizando lo siguiente:

- Reduciendo el consumo de potencia.
- Aumentando el ciclo de vida del equipo de refrigeración.
- Aumentando la eficiencia del equipo de refrigeración.
- Previniendo fallas en el equipo de refrigeración.

Lo anterior es conseguido por medio del siguiente procedimiento:

1. Realiza un muestreo de ciertas variables del refrigerador (temperaturas, corrientes y voltajes).
2. Determina si las variables monitoreadas del refrigerador se encuentran dentro de un rango considerado como normal.

3. En caso de que las variables monitoreadas del refrigerador se encuentren fuera del rango normal, se despliega un mensaje de alarma y se ejecuta una acción específica según el tipo de alarma presentada.
4. Cuando los valores de las variables monitoreadas se encuentran dentro del rango determinado como normal se ejecutan ciertas acciones operativas.

Palabras claves: refrigerador; sistema de refrigeración; sistema de refrigeración comercial; sistema de control y monitoreo electrónico.

ABSTRACT

This document describes the design of an electronic monitoring and control system for commercial refrigeration systems.

A commercial refrigeration system is used to store different kinds of goods in an environment with a specific temperature. However, this kind of refrigerator has some disadvantages:

- It consumes a lot of energy.
- It works in a very rough environment (it is used frequently by many people) so it needs a great deal of maintenance.

The previous reasons make a commercial refrigeration unit very expensive.

The design shown in this document describes an electronic system that will reduce the power consumption and maintenance's costs of a commercial refrigeration system. It achieves that by doing the following:

- Reducing power consumption.
- Increasing the refrigeration unit's life cycle.
- Increasing the refrigeration unit's efficiency.
- Preventing fails in the refrigeration system.

To do this, the electronic monitoring and control system executes the following procedure:

1. It measures some variables (temperature, current and voltage) of the refrigeration system.
2. It determines if the measured values are within a normal range.
3. If the measured values are outside the normal range, it displays a warning message and executes an action.

4. When the measured values are inside the normal range it executes a set of operative actions.

Keywords: refrigeration system; commercial refrigeration system; refrigerator; electronic monitoring and control system.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción de la empresa	1
1.2 Definición del problema y su importancia	1
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	6
2.1 Estudio del problema a resolver	6
2.1.1 Descripción de un sistema de refrigeración	6
2.1.2 Funcionamiento de un sistema de refrigeración	7
2.2 Requerimientos de la empresa	8
2.2.1 Criterios para el diseño	8
2.2.2 Requerimientos del sistema	9
2.3 Solución propuesta	9
CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	11
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO	15
4.1 Sensores de temperatura integrados de silicio	15
4.2 Microcontrolador 68HC908GP32	16
4.3 Teclado matricial	17
4.4 Pantalla LCD de 20 caracteres x 4 líneas	18
4.4.1 Controlador para pantallas HD44780	19

CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO	22
5.1 WINIDE	22
5.2 CASM08W	23
5.3 ICS08GP	23
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
6.1 Explicación del diseño	24
6.1.1 Diseño del hardware	24
6.1.2 Diseño del software	29
6.2 Alcances y limitaciones	33
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
7.1 Conclusiones	34
7.2 Recomendaciones	35
BIBLIOGRAFÍA	36
APÉNDICES	38
Apéndice A. 1: Comunicación SPI	38
Apéndice A. 2: Abreviaturas	40
ANEXO 1: MICROCONTROLADOR MOTOROLA 68HC908GP32	41
ANEXO 2: CARACTERES DISPONIBLES EN EL CONTROLADOR DE LCDS HD44780	43
ANEXO 3: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROLADOR DE LCDS HD44780	44
ANEXO 4: INSTRUCCIONES DEL CONTROLADOR DE LCDS HD44780	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema de refrigeración básico	7
Figura 2.2 Sistema de control y monitoreo electrónico	10
Figura 4.1 Teclado matricial de 16 teclas	17
Figura 4.2 Diagrama de conexiones del teclado matricial	18
Figura 4.3 Terminales para el controlador de LCDs HD44780	19
Figura 6.1 Diagrama de bloques del sistema básico de control y monitoreo electrónico	25
Figura 6.2 Diagrama de bloques del módulo principal	27
Figura 6.3 Diagrama de bloques del módulo de entradas analógicas	28
Figura 6.4 Diagrama de bloques del módulo de salidas	29
Figura 6.5 Diagrama de flujo general del programa del sistema de control y monitoreo electrónico	30
Figura A.1 Conexión del MC68HC908GP32 con tres dispositivos por medio del bus SPI	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Características de los sensores de temperatura integrados de silicio	16
Tabla 4.2 Terminales para el controlador de LCDs HD44780	19
Tabla 4.3 Registros internos del controlador de LCDs HD44780	20
Tabla 4.4 Descripción de los registros internos del controlador de LCDs HD44780	21

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la empresa

SMARTECH S.A. es una empresa pequeña que se dedica al diseño y construcción de dispositivos electrónicos basados en microcontroladores para la industria nacional, aunque en sus planes futuros pretende alcanzar mercados internacionales. Esta empresa fue fundada en febrero del 2000 por el Ing. Juan Carlos Castañeda. Debido a su reciente incorporación al mercado, SMARTECH cuenta con pocas personas laborando allí; actualmente hay 3, de los cuales 2 son ingenieros. Debido a su poco personal SMARTECH no está organizado por departamentos.

El Ing. Juan Carlos Castañeda es su presidente y gerente general, que además se encarga de buscar y seleccionar los proyectos que se desarrollarán. Actualmente, se están desarrollando dos proyectos. Uno de ellos es el que trata el presente informe, el cual está enfocado al campo de sistemas de refrigeración . El otro se encuentra orientado al área de aplicaciones industriales y consiste en el desarrollo de una terminal remota para tener un mejor control del personal en las líneas de producción de una fábrica.

1.2 Definición del problema y su importancia

Desde el punto de vista de costos, los refrigeradores comerciales tienen tres inconvenientes principales: costo inicial, mantenimiento y consumo de potencia.

El mantenimiento de los sistemas de refrigeración comercial puede ser muy costoso debido a factores como:

- a. Los equipos se encuentran en lugares alejados, lo cual representa un costo considerable en viáticos.
- b. Una situación irregular en el equipo (bloqueo del condensador, desconexión del ventilador del condensador, etc.) usualmente termina creando una falla en el compresor y haciendo que sea necesario reemplazarlo, siendo uno de los elementos más costosos del sistema.

Los sistemas de refrigeración comercial debido a su tamaño y accesorios (compresores, ventiladores, luces externas e internas) son una carga considerable para el comerciante en lo que respecta a costos por consumo de potencia. Si de alguna forma se puede lograr reducir este consumo, ello repercutiría en un ahorro importante para el comerciante.

Por consiguiente, el problema a solucionar consiste en desarrollar un sistema que permita, de una forma eficiente y económica, mejorar la calidad de las refrigeradoras y el servicio que la compañía fabricante brinda al cliente.

El presente proyecto brinda una solución para los problemas anteriormente planteados. La solución consiste en el diseño de un sistema de control y monitoreo electrónico, el cual permitiría determinar cuando el equipo de refrigeración está fallando y por qué razón y así poder tomar decisiones que permitirán reducir los costos de mantenimiento. Este sistema, además, reduciría el consumo de potencia permitiéndole al usuario establecer horarios de funcionamiento para el equipo.

El sistema electrónico diseñado permite monitorear un conjunto de variables que representan el estado de operación del refrigerador y controlar una serie de funciones que gobiernan la operación del mismo.

Con el desarrollo de este sistema, se espera obtener varios efectos positivos tanto para la empresa fabricante como para los consumidores finales. Estos son:

- Aumento en las ventas de refrigeradores mediante la satisfacción del cliente, brindando un producto de mejor calidad y con un mejor y más eficiente servicio al cliente.
- Reducción de los costos de mantenimiento de las refrigeradoras.
- Reducción del consumo de potencia de los refrigeradores.
- Posibilidad de mayor control.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de un sistema de monitoreo y control electrónico para un refrigerador, que permita aumentar la calidad de las refrigeradoras y mejorar el servicio que la empresa fabricante brinda al cliente.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1.3.2.1** Diseñar la conexión de los sensores de temperatura y estado de las puertas con el microcontrolador.
- 1.3.2.2** Diseñar el sistema de sensado de voltaje y corriente en los ventiladores y compresores del refrigerador y realizar su conexión con el microcontrolador.
- 1.3.2.3** Elaborar rutinas que permitan sensar continuamente el voltaje y la corriente a través de los compresores, ventiladores y resistencias del equipo de refrigeración.
- 1.3.2.4** Elaborar rutinas que permitan sensar continuamente la temperatura en el tubo de descarga y de succión del compresor, en la cámara y la temperatura ambiente.
- 1.3.2.5** Elaborar rutinas que comprueben el estado de las puertas.
- 1.3.2.6** Diseñar la conexión de los botones de entrada del sistema.
- 1.3.2.7** Diseñar la conexión de la pantalla LCD con el microcontrolador
- 1.3.2.8** Elaborar rutinas para el despliegue de los menús y mensajes operativos del sistema.
- 1.3.2.9** Elaborar rutinas para desplegar las variables que están siendo monitoreadas.
- 1.3.2.10** Elaborar rutinas para desplegar los diferentes mensajes de alarma.
- 1.3.2.11** Elaborar rutinas para programar los parámetros y funciones del sistema.

- 1.3.2.12** Diseñar y realizar la conexión con el microcontrolador de los elementos de interfase necesarios para el control de encendido y apagado de las luces (internas o externas), ventiladores, resistencias de descongelamiento y compresores del refrigerador.
- 1.3.2.13** Elaborar rutinas que controlen el encendido y apagado de las luces internas y/o externas según los horarios programados por el usuario.
- 1.3.2.14** Elaborar rutinas que controlen el encendido y apagado de los compresores, resistencias de descongelamiento y ventiladores según las alarmas que se presenten.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Estudio del problema a resolver

2.1.1 Descripción de un sistema de refrigeración

Un sistema de refrigeración es un sistema que transmite calor de un lugar a otro. Esto lo logra por medio de un gas refrigerante (usualmente Freón) con un punto de ebullición muy bajo, el cual funciona como medio para transmitir calor. Además del refrigerante existen otros elementos importantes:

- a. Evaporador: Es un conjunto de conductos alrededor de la cámara de donde se extrae el calor por donde pasa el refrigerante. Aquí se realiza la extracción de calor.
- b. Condensador: Lugar en donde se emite o libera el calor extraído de la cámara.
- c. Tubo capilar: Tubo de diámetro milimétrico que sirve para ayudar a que se produzca el cambio de estado del refrigerante (de gas a líquido).
- d. Compresor: Permite que el refrigerante fluya a través de los conductos del sistema de refrigeración para que ocurra la transferencia de calor.

2.1.2 Funcionamiento de un sistema de refrigeración

Cuando se enciende el sistema de refrigeración, el compresor empieza a hacer circular el refrigerante a lo largo de los conductos que posee el sistema. Tomando como punto de inicio el lado de alta presión del compresor, el refrigerante, en estado gaseoso, pasa luego al condensador. Aquí se condensa pasando el refrigerante a su estado líquido; el tubo capilar, conectado después del condensador, asegura que el refrigerante se encuentre en estado líquido al llegar al evaporador. Es en este lugar en donde ocurre la extracción de calor; el refrigerante absorbe el calor de la cámara y se evapora dado su bajo punto de ebullición. Luego es succionado por el compresor para iniciar de nuevo el ciclo.

En la figura 1 se puede observar el diagrama de un sistema de refrigeración básico. Allí se muestran los principales elementos que lo componen: compresor, evaporador, condensador, línea capilar. Esta figura también muestra los lados de alta y baja presión del sistema.

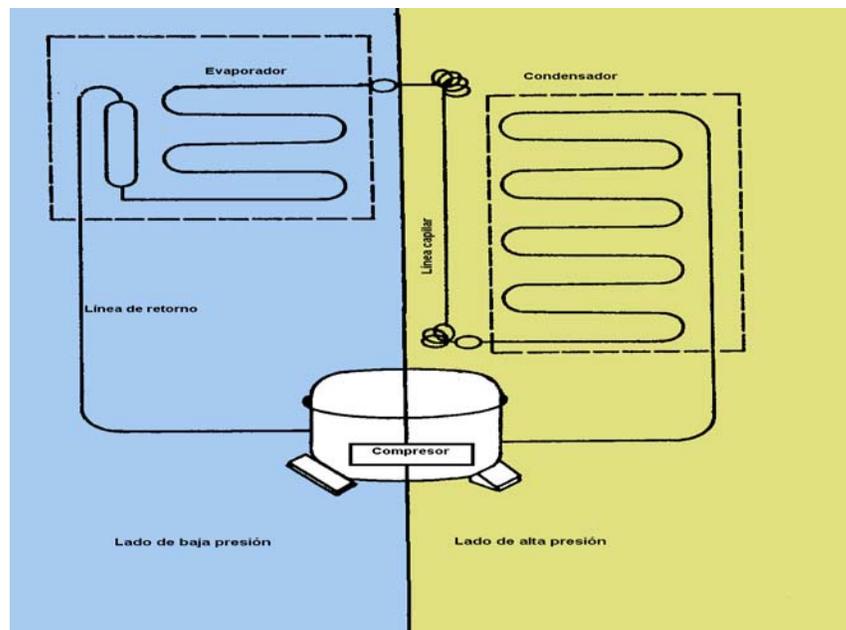


Figura 2.1 Sistema de refrigeración básico

Para desarrollar el sistema de control y monitoreo electrónico fue necesario realizar un estudio de todos los elementos del sistema y su comportamiento en situaciones anormales. Estas situaciones usualmente evolucionan hasta producir un daño grave en el sistema. Conociendo el comportamiento y determinando indicadores de fallo en cada uno de estos elementos, fue posible obtener las variables de entrada que determinarán las señales de control del sistema.

2.2 Requerimientos de la empresa

2.2.1 Criterios para el diseño

La selección de elementos y acciones a tomar durante el diseño del dispositivo se basó principalmente en los siguientes criterios:

1. Costo
2. Posibilidad de agregar nuevas funciones al sistema en forma sencilla.
3. Generalidad (Posibilidad de ser usado en diferentes modelos y marcas de refrigeradores comerciales).

2.2.2 Requerimientos del sistema

2.2.2.1 Elementos a controlar:

Además de los criterios antes indicados, el dispositivo a desarrollar debe tener la capacidad para controlar un equipo de refrigeración con las siguientes características:

- 4 Cámaras.
- 4 Compresores.
- 4 Ventiladores de cámara.
- 4 Ventiladores en los condensadores del equipo (1 por compresor).
- 4 Luces internas.
- 4 Luces externas.
- 4 Resistencias de descongelamiento.

2.3 Solución propuesta

La solución propuesta consiste en el desarrollo de un sistema electrónico que se encuentre monitoreando constantemente variables de entrada del sistema y con base en ellas, determine acciones de alarma o de control a ejecutar en el equipo. Este proceso se observa en la figura 2.1.

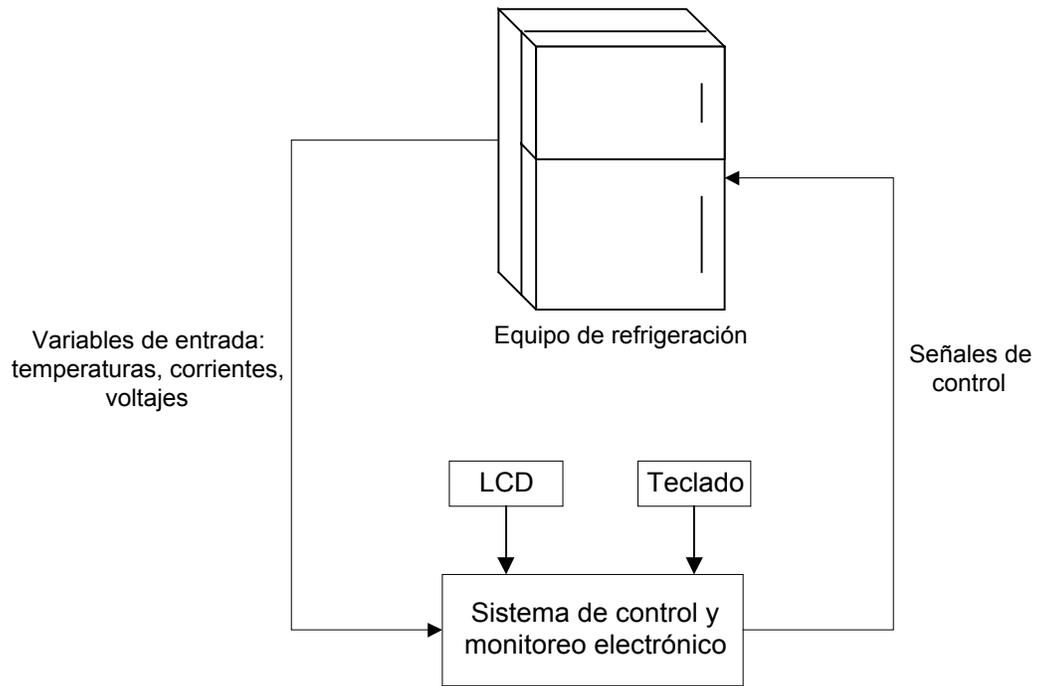


Figura 2.2 Sistema de control y monitoreo electrónico

Las variables de entrada sensadas son temperaturas, corrientes y voltajes del equipo. Las señales de control gobernarán sus compresores y ventiladores.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Conexión de un sensor de temperatura y prueba del mismo con una temperatura conocida.

3.2 Sistema de sensado de corriente y voltaje:

3.2.1 Determinación del rango de corriente máximo que se medirá para cada uno de los sensores.

3.2.2 Diseño y conexión de un elemento aislador galvánico entre la corriente y el voltaje sensado y el microcontrolador.

3.2.3 Diseño y conexión de un elemento de conversión del valor de la corriente sensada a un valor de voltaje equivalente.

3.2.4 Prueba del sensor diseñado con valores de corriente conocidas para determinar su precisión.

3.3 Rutinas de sensado de corriente y voltaje:

3.3.1 Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.

3.3.2 Programar las rutinas en el microcontrolador.

3.3.3 Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.

3.4 Rutinas de sensado de temperatura:

3.4.1 Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.

- 3.4.2** Programar las rutinas en el microcontrolador.
 - 3.4.3** Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.
- 3.5** Rutinas de monitoreo del estado de puertas:
 - 3.5.1** Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.
 - 3.5.2** Programar las rutinas en el microcontrolador.
 - 3.5.3** Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.
- 3.6** Botones del sistema.
 - 3.6.1** Conexión con el módulo principal.
 - 3.6.2** Verificación de las acciones realizadas cuando se presionan los botones del sistema.
- 3.7** Conexión de la pantalla LCD con el microcontrolador
 - 3.7.1** Rutina de despliegue de los menús y mensajes operativos del sistema:
 - 3.7.2** Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.
 - 3.7.3** Programar las rutinas en el microcontrolador.
 - 3.7.4** Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.
- 3.8** Rutinas para el despliegue de menús y mensajes operativos del sistema:
 - 3.8.1** Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.

- 3.8.2** Programar las rutinas en el microcontrolador.
 - 3.8.3** Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.
- 3.9** Rutinas de despliegue variables monitoreadas:
- 3.9.1** Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.
 - 3.9.2** Programar las rutinas en el microcontrolador.
 - 3.9.3** Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.
- 3.10** Rutinas de despliegue de mensajes de alarma:
- 3.10.1** Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.
 - 3.10.2** Programar las rutinas en el microcontrolador.
 - 3.10.3** Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.
- 3.11** Rutinas de programación de parámetros y funciones del sistema:
- 3.11.1** Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.
 - 3.11.2** Programar las rutinas en el microcontrolador.
 - 3.11.3** Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.

3.12 Control de encendido y apagado de las luces (internas o externas), resistencias de descongelamiento, ventiladores y compresores del refrigerador:

3.12.1 Determinación de los elementos de potencia que se conectarán a cada uno de los elementos por controlar (luces, ventilador, resistencias de descongelamiento y compresores).

3.12.2 Conexión de los elementos de potencia con los elementos a controlar y el microcontrolador.

3.13 Rutinas de control de encendido y apagado de las luces internas y externas:

3.13.1 Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.

3.13.2 Programar las rutinas en el microcontrolador.

3.13.3 Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.

3.14 Rutinas de control encendido y apagado de ventiladores y compresores del refrigerador:

3.14.1 Elaborar diagramas de flujo de las rutinas.

3.14.2 Programar las rutinas en el microcontrolador.

3.14.3 Realizar pruebas en diferentes situaciones para comprobar el adecuado funcionamiento de las rutinas.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

El hardware principal utilizado en el sistema de control y monitoreo electrónico está constituido por los siguientes elementos:

1. Sensores de temperatura integrados de silicio.
2. Microcontrolador 68HC908GP32.
3. Teclado matricial de 16 teclas.
4. LCD de 20 caracteres x 4líneas.

4.1 Sensores de temperatura integrados de silicio

Los sensores integrados de silicio detectan temperatura según las variaciones eléctricas que ocurren en los semiconductores debido a la temperatura. Este tipo de sensores se construyen en un circuito integrado permitiendo que su instalación en un circuito impreso sea relativamente sencilla. Como estos sensores se construyen en un chip, muchos fabricantes incluyen circuitos de acondicionamiento de señal dentro del mismo, obteniéndose formatos de salidas bastante amigables y adecuados para conectar con un microcontrolador. Las principales características de los sensores de temperatura integrados de silicio se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Características de los sensores de temperatura integrados de silicio

	Sensor integrado de silicio
Rango	-55 a 150°C
Sensitividad	-2mV/°C
Precisión	±1°C
Linealidad	No requiere linealización
Excitación	Voltaje
Forma de salida	Voltaje, corriente o digital.

4.2 Microcontrolador 68HC908GP32

Se utilizará el microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola®, el cual posee las siguientes características:

- Frecuencia máxima de bus interno de 8MHz.
- 32Kb de memoria Flash interna.
- 512 bytes de memoria RAM interna.
- Interfase serial de periféricos (SPI).
- Interfase serial de comunicaciones (SCI)
- Dos temporizadores de 16bits con capacidad para PWM.
- 8 convertidores ADC por aproximaciones sucesivas.
- Modulo generador de reloj con PLL compatible con cristales de 32kHz.
- 33 pines de entradas / salidas.
- Puertos A, C y D con entradas de pull-up seleccionables.
- Capacidad de corriente de 10mA en todos los terminales de los puertos.

- Capacidad de corriente máxima de 15mA en las terminase 0 – 4 del puerto C.
- 16 modos de direccionamiento.
- Registro índice de 16bit.
- Puntero de pila de 16bit.
- Permite transferencia de memoria a memoria.
- Posee instrucción de multiplicación (8 x 8).
- Posee instrucción de división (16/8).
- Posee instrucciones para manejo de datos BCD.

En el apéndice 1 se muestran más características de este microcontrolador.

4.3 Teclado matricial

En el presente proyecto se utiliza un teclado matricial de 16 teclas, como el que se muestra en la figura 4.1.

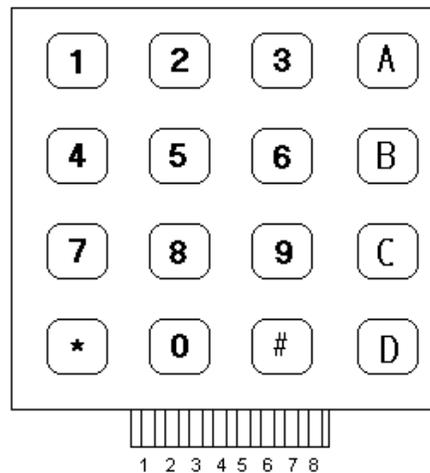


Figura 4.1 Teclado matricial de 16 teclas

En un teclado matricial cada tecla representa la intersección de una fila y una columna. Cuando se presiona una tecla, la fila y la columna respectiva hacen contacto generando un corto entre ambas. En la figura 4.2 se puede observar el esquema de un teclado matricial.

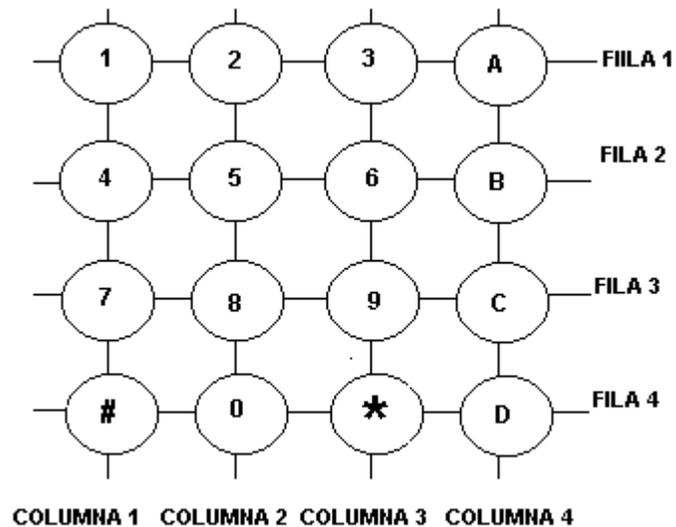


Figura 4.2 Diagrama de conexiones del teclado matricial

4.4 Pantalla LCD de 20 caracteres x 4 líneas

El sistema de control y monitoreo electrónico posee una pantalla LCD que permite desplegar las opciones de menús y los diferentes mensajes de alarma que se pueden presentar.

La pantalla LCD utilizada posee un controlador integrado (HD44780) incorporado que facilita su manejo por parte de un microcontrolador.

4.4.1 Controlador para pantallas HD44780

El HD44780 es un controlador / manejador para pantalla de cristal líquido (LCD) desarrollado por Hitachi. Este controlador se encuentra incorporado en gran cantidad de LCDs comerciales de diferentes fabricantes.

El HD44780 puede desplegar caracteres alfanuméricos, caracteres japoneses Kana y otros símbolos. Este controlador está configurado para ser manejado por microcontroladores de 8 bits o 4 bits. Las terminales del HD44780 se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Terminales para el controlador de LCDs HD44780

Nombre	Función
Vss	GND
Vcc	+5V
Vee	Ajuste de contraste
E	Habilitación
RS	0 = Entrada de instrucción 1 = Entrada de datos
R/W	0 = Escribe al HD44780 1 = Lee del HD44780
DB0 – DB7	Bus de datos

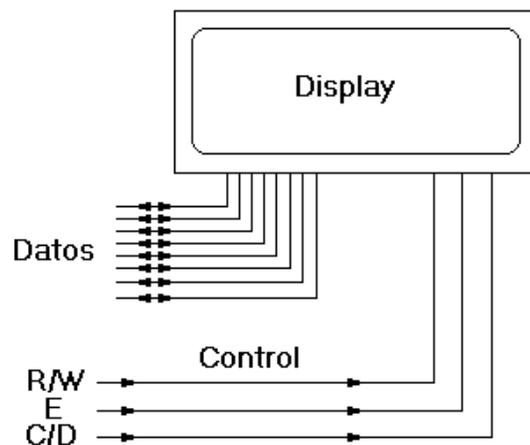


Figura 4.3 Terminales para el controlador de LCDs HD44780

El HD44780 posee memoria RAM interna que almacena datos representados en códigos de caracteres de 8 bits. A éste tipo de memoria se le denomina DDRAM (Display Data RAM) y tiene capacidad para almacenar hasta 80 caracteres. En pantallas con capacidad menor para 80 caracteres, la DDRAM que no está siendo usada para el despliegue puede ser usada como RAM general para almacenamiento de otro tipo de datos. La DDRAM indica en qué lugar de la pantalla se desplegará un caracter determinado, por lo que ésta se relaciona con el LCD de diferentes formas según sea la configuración y capacidad de su pantalla.

Existe otro tipo de memoria encargada de almacenar los diferentes caracteres que se pueden desplegar. El HD44780 almacena 192 caracteres conformados por patrones de 5x7 o 5x10 puntos en memoria ROM (CGROM). Además permite que el usuario pueda definir hasta 8 caracteres para patrones de 5x7 o 4 caracteres para patrones de 5x10 en memoria RAM (CGRAM). Los caracteres preconfigurados en memoria ROM se muestran en el anexo.

Además de los espacios de memoria anteriormente mencionados, el HD44780 posee varios registros internos que se describen en la tablas 3 y 4.

Tabla 4.3 Registros internos del controlador de LCDs HD44780

Registro	Tamaño
Instrucciones (IR)	8 bits
Datos (DR)	8 bits
Busy (BF)	1 bit
Contador de direcciones (AC)	7 bits

Tabla 4.4 Descripción de los registros internos del controlador de LCDs HD44780

Registro	Almacena	Escritura	Lectura	RS	R/W	Notas
IR	Código de instrucciones. Direcciones de memoria de despliegue		X	0	1	Cuando una instrucción de dirección es escrita en el IR, la información de la dirección es enviada del IR al AC
DR	Datos que serán escritos en la memoria de despliegue	X	X	1	0 / 1	
BF	Indica (BF=1) cuando el HD44780 se encuentra realizando operaciones internas y la próxima instrucción no será aceptada.		X	0	0	
AC	Asigna direcciones a la memoria de despliegue y de generación de caracteres.		X	0	0	

Más información acerca del controlador de LCDs HD44780 se puede observar en los apéndices 2,3,4.

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO

En el desarrollo del sistema de control y monitoreo electrónico, se utilizó el siguiente software para la programación y prueba de las rutinas del microcontrolador:

- a. WINIDE: Editor de texto para crear las rutinas.
- b. CASM08W: Ensamblador de código para el microcontrolador Motorola 68HC908GP32.
- c. ICS08GP: Simulador y programador para el microcontrolador Motorola 68HC908GP32.

A continuación se describen cada uno de ellos con más detalle:

5.1 WINIDE

El programa WINIDE, desarrollado por P&E Microcomputer Systems, es una aplicación de edición que permite al usuario ejecutar diferentes tipos de programas como ensambladores, compiladores, debuggers y programadores. Si se configura correctamente, el programa puede determinar errores que se han presentado en la ejecución de éstos programas. De esta forma un solo programa maneja todas las herramientas de software necesarias para la prueba y programación de rutinas para microcontroladores o microprocesadores.

5.2 CASM08W

CASM08W es un ensamblador que genera archivos de objetos S19 y archivos MAP a partir de archivos de texto que contengan instrucciones del microcontrolador 68HC908GP32. Los archivos de objetos S19 y los archivos MAP son utilizados para programar código en la memoria interna del microcontrolador Motorola 68HC908GP32. Este programa puede ser ejecutado desde el WINIDE.

5.3 ICS08GP

ICS08GP es un programa de simulación y programación para el microcontrolador de Motorola 68HC908GP32. Al igual que el WINIDE este programa también es desarrollado por P&E Microcomputer Systems, razón por la cual se le puede acceder desde el WINIDE.

El ICS08GP está hecho para funcionar con el módulo de desarrollo M68ICS08GP para microcontroladores Motorola. Para simular rutinas del microcontrolador, el programa toma las entradas y salidas del módulo de desarrollo M68ICS08GP que se encuentra conectado al PC por medio del puerto serie. La simulación no es en tiempo real, por lo que la velocidad de ejecución de rutinas es menor que cuando las ejecuta el microcontrolador. El programa ICS08GP también permite programar la memoria Flash del microcontrolador con el código generado desde el programa WINIDE.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 Explicación del diseño

6.1.1 Diseño del hardware

El sistema está compuesto de módulos físicamente individuales que permiten conectarse unos con otros. Se diseñó de esta forma principalmente por dos razones:

1. Ofrecer un dispositivo de control y monitoreo que se adecue a las características del equipo de refrigeración para el cual se utilizará. De esta forma no es necesario diseñar diferentes sistemas para cada equipo, sino que existirá un módulo básico al cual se le agregarán más módulos según sean las necesidades del equipo.
2. Facilitar la tarea de mantenimiento del sistema. En caso de que algún elemento del sistema falle no es necesario sustituir o reparar todo el dispositivo, sino sólo el módulo en el cual se encuentra el elemento dañado.

6.1.1.1 Módulos del sistema básico

El sistema de control y monitoreo electrónico básico estará conformado por los siguientes módulos:

1. Principal: contiene el microcontrolador, la memoria principal y las interfases para los sensores de temperatura, alarmas, teclado y LCD.

2. Entradas analógicas: posee los elementos necesarios para que las señales analógicas de corrientes y voltajes sean interpretadas correctamente por el microcontrolador.
3. Salidas: contiene todos los elementos necesarios para accionar los compresores y ventiladores del equipo de refrigeración.
4. Fuente de alimentación: módulo necesario para convertir el voltaje alterno de alimentación del equipo en voltajes directos para la alimentación del microcontrolador y otros elementos electrónicos de los demás módulos.

La siguiente figura muestra el diagrama de bloques general de la conformación del sistema básico de control y monitoreo:

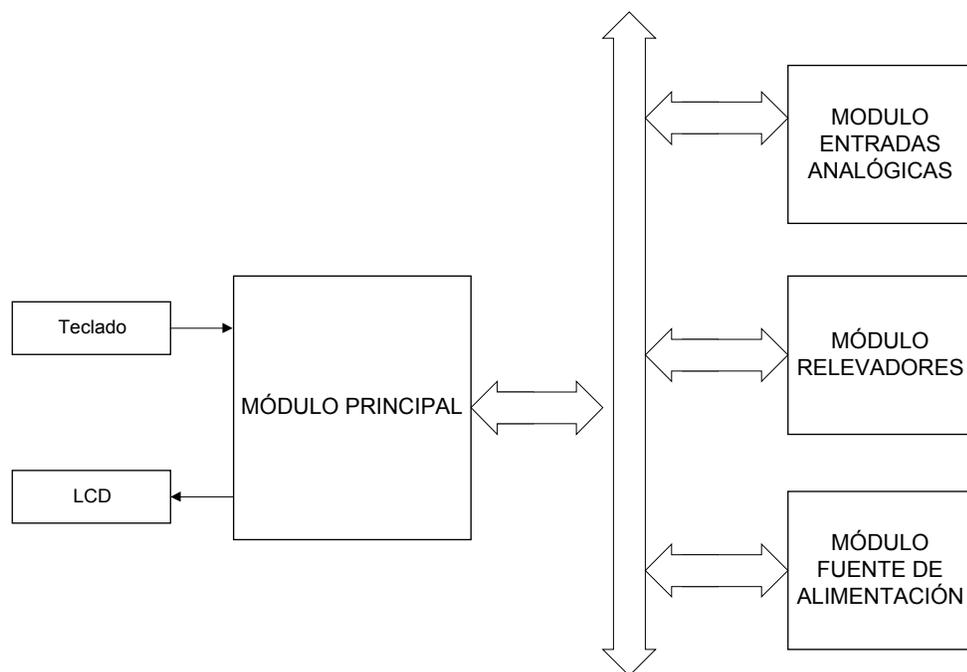


Figura 6.1 Diagrama de bloques del sistema básico de control y monitoreo electrónico

6.1.1.2 Comunicación entre módulos

La comunicación entre los módulos se realiza a través de un bus común para todos ellos. Sólo el módulo principal puede iniciar la comunicación entre los módulos, es por esto que para determinar el estado del sistema el módulo principal debe de estar preguntando el estado de cada uno de los módulos constantemente (polling). Esta comunicación está basada en el estándar SPI que posee el microcontrolador Motorola MC68H908GP32, la cual se detalla en el apéndice 1.

6.1.1.3 Módulo principal

El módulo principal ejecuta las siguientes funciones:

- Control del despliegue en LCD.
- Activación / desactivación de alarmas.
- Obtención de datos de los sensores de temperatura.
- Control teclado.

Cada uno de estas funciones se observan en la figura 4.2.

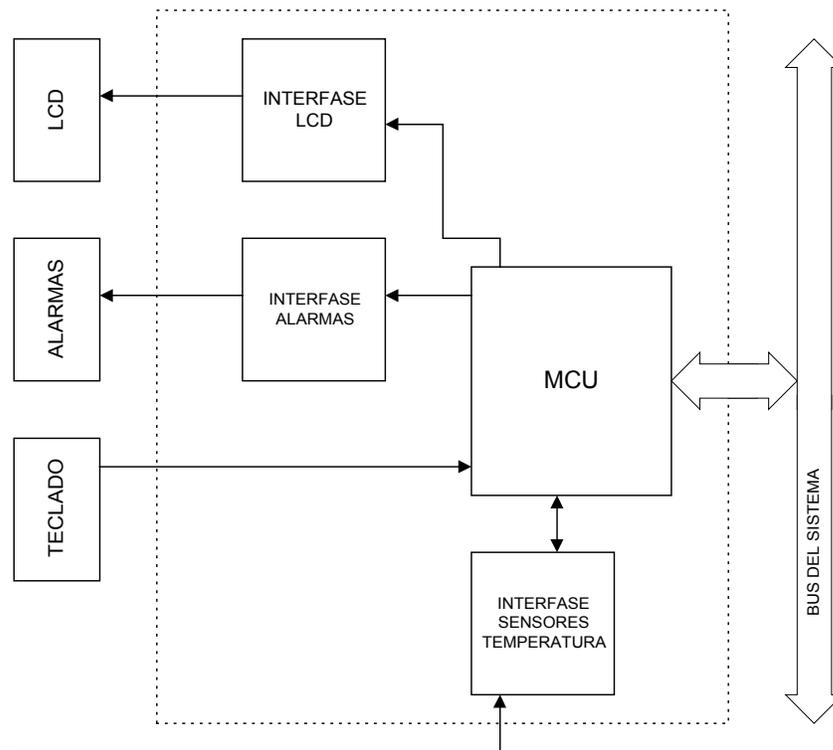


Figura 6.2 Diagrama de bloques del módulo principal

Los componentes utilizados para la realización del módulo principal se enlistan a continuación:

- Microcontrolador motorola 68HC908GP32.
- Sensores de temperatura
- LCD de 20 caracteres x 4 líneas.
- Teclado de 16 teclas matricial.
- Leds y un altavoz para indicar estados de alarma.

6.1.1.4 Módulo de entradas analógicas

El módulo de entradas analógicas toma el dato de corriente o voltaje y lo convierte un formato adecuado para que el puerto ADC del microcontrolador lo pueda interpretar. El diagrama de bloques de este módulo se muestra en la figura 4.3.

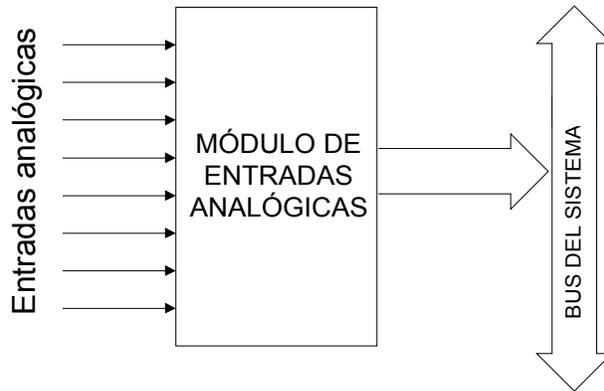


Figura 6.3 Diagrama de bloques del módulo de entradas analógicas

6.1.1.5 Módulo de salidas

El módulo de salidas acciona los elementos del equipo de refrigeración que se desean controlar. Éstos son los compresores, los ventiladores, las resistencias en el tubo de descarga y la luces internas y externas. El módulo de salidas consiste de 8 relevadores con sus respectivos manejadores que son seleccionados por medio la señal de selección que proviene del bus del sistema y es generada por el microcontrolador desde el módulo principal.

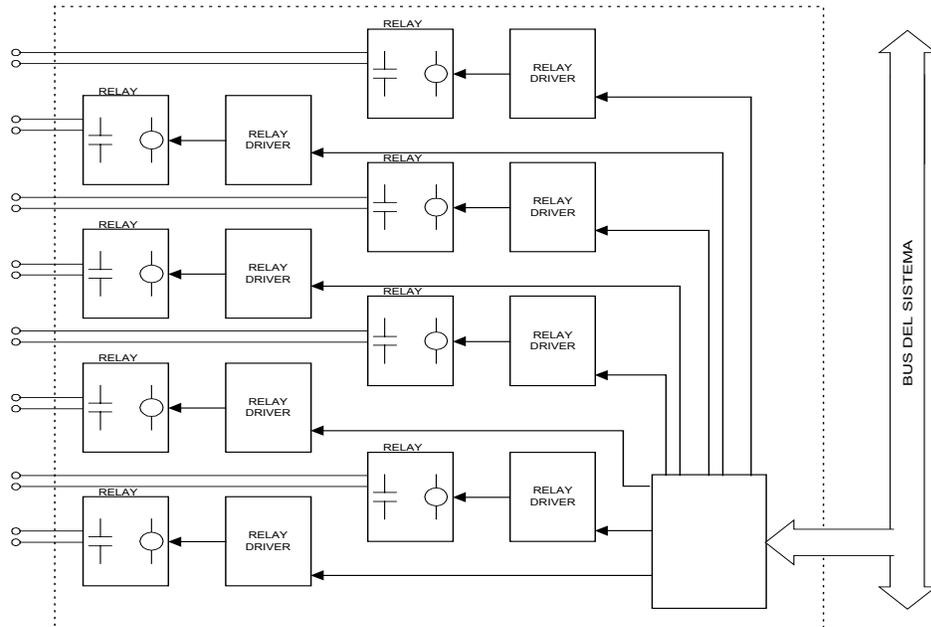


Figura 6.4 Diagrama de bloques del módulo de salidas

6.1.2 Diseño del software

El programa se puede dividir en las siguientes partes según la función que estas desempeñan:

1. Inicialización.
2. Sensado – Ubicación – Alarmas.
3. Acciones operativas.
4. Apagado / Encendido de elementos.
5. Menús.
6. Despliegue en pantalla.

El diagrama de flujo general que describe la relación de estas partes se muestra en la siguiente figura.

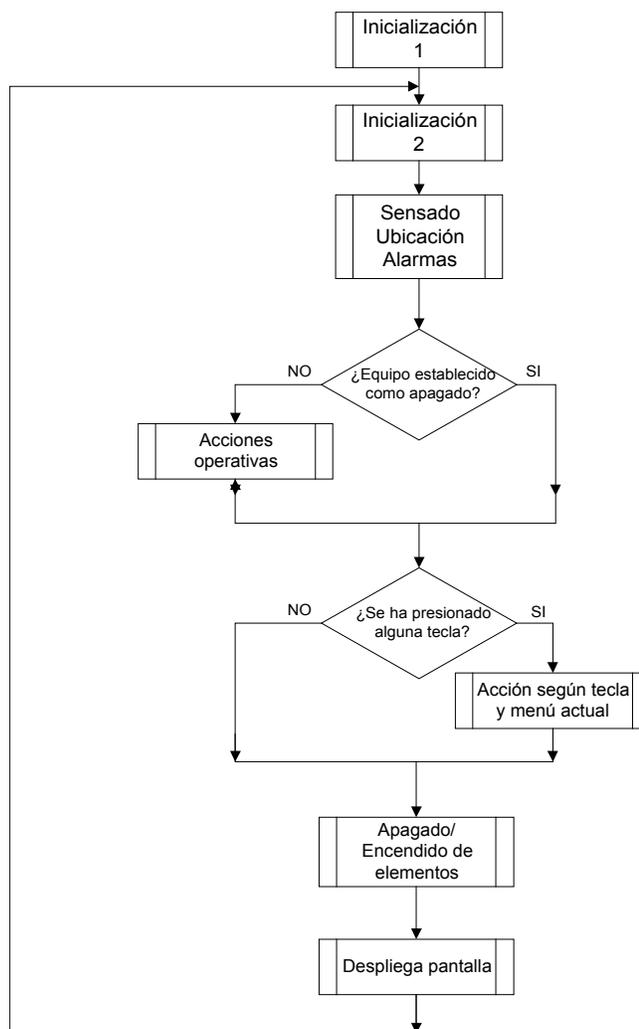


Figura 6.5 Diagrama de flujo general del programa del sistema de control y monitoreo electrónico

A continuación se describirán cada una de estas partes en forma más detallada.

6.1.2.1 Inicialización 1

Como se pudo observar en la figura anterior existen dos inicializaciones, una fuera del ciclo y otra dentro. La inicialización 1 (fuera del ciclo) consiste en el establecimiento de todos los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento del microcontrolador y el inicio del ciclo. Aquí se inicializa el microcontrolador y los sensores del sistema.

6.1.2.2 Inicialización 2

En la figura 6.5 se muestra que la inicialización 2 se encuentra dentro del ciclo principal del programa. En esta inicialización se realizan las siguientes acciones:

1. *Reactivación de salidas con base en de estado de los elementos de salida:*
La función de esta rutina consiste en encender o apagar los elementos de salida correspondientes según el estado que deberían de estar presentado los elementos de salida.
2. *Verificación de sensores:* esta rutina permite determinar si algún sensor presenta algún tipo de falla.

6.1.2.3 Sensado – Ubicación – Alarmas

Esta rutina realiza las siguientes acciones en el orden que se muestran:

- a. Obtiene el dato que se tiene en los sensores de los diferentes elementos de entrada del sistema.
- b. Ubica el dato de los sensores en rangos previamente definidos.
- c. Verifica si la medición realizada se encuentra dentro de rangos de alarma o advertencia y ejecuta una acción en caso de ser necesario.

6.1.2.4 Rutinas operativas del equipo

Las rutinas operativas son las que controlan el funcionamiento del equipo. Esto lo realizan activando o desactivando los compresores y ventiladores del equipo. La activación o desactivación de estos elementos depende del valor de las variables de entrada de temperatura y corriente sensadas y obtenidas por medio de la rutina descrita en la sección 5.3.

6.1.2.5 Rutina de menús

La rutina de menús despliega las opciones que tiene el usuario y ejecuta una acción correspondiente con base en la tecla presionada. Esta rutina también se manejan los estados de alarma que se van presentando en el sistema. Esta rutina determina cuál es la pantalla que se va a desplegar.

6.1.2.6 Despliegue

En esta rutina se despliega la pantalla determinada en la rutina de menús. La rutina de despliegue envía las señales de control al LCD. Para más información acerca de las señales necesarias para controlar el LCD se puede la sección 4.4.1.

6.2 Alcances y limitaciones

El desarrollo del sistema de control y monitoreo electrónico no se ha podido efectuar en forma completa debido a la complejidad y cantidad de sus funciones. La etapa de diseño ha quedado terminada restando solamente las etapas de construcción, pruebas finales y corrección. Previo a la etapa de diseño existió un período de pruebas en el cual se pudo obtener valiosa información, la cual permitió la identificación de las variables que se veían afectadas cuando ocurría un fallo en el equipo de refrigeración. Estos datos fueron analizados y tomados en cuenta para obtener un diseño que se encuentre más cerca al funcionamiento práctico de un equipo de refrigeración comercial.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- 7.1.1** El diseño de un sistema electrónico de control debe estar sustentado en mediciones del comportamiento del elemento que se desea controlar.

- 7.1.2** El diseño de un sistema electrónico debe contemplar no sólo las funciones que se desean implementar, sino también posibles modificaciones y agregados que se le pueda hacer en el futuro.

- 7.1.3** El control de los elementos de un refrigerador comercial reduce su consumo de potencia.

- 7.1.4** Con el control de los elementos de un refrigerador comercial se obtiene una distribución de temperatura más uniforme y eficiente dentro de la cámara.

- 7.1.5** Un sistema de monitoreo electrónico permite detectar estados de alarma del equipo de refrigeración pudiendo advertir acerca de un daño mayor.

7.2 Recomendaciones

- 7.2.1** Comprobar el funcionamiento adecuado del sistema diseñado mediante la simulación, en diferentes equipos de refrigeración, de situaciones de alarma y de control.

- 7.2.2** Realizar pruebas del sistema de control y monitoreo electrónico en diferentes equipos de refrigeración para probar su adaptabilidad a diferentes modelos de refrigeradores.

- 7.2.3** Realizar mediciones de potencia consumida con un equipo de refrigeración sin el sistema y otro con él.

BIBLIOGRAFÍA

ACEEE. *Top-Rated Energy-Efficient Appliances.*

(www.aceee.org/consumerguide/topfridge.htm).

Bertín Prado, Robert. *Microcontrolador universal aplicado a un control de temperatura basado en el 8051.* Tesis de Bachillerato en Ingeniería Eléctrica. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica. 1995.

Bierschnek, Brad. *Data Structures for 8-bit Microcontrollers.* EEUU: Motorola Microcontroller Division, 1998.

Brain, Marshall. *How Refrigerators Work.*

(www.howstuffworks.com/refrigerator1.htm).

Coughlin, Robert F.; Driscoll, Frederick F. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales.* México: Prentice Hall, 1993.

Dossat , Roy J. *Principios de refrigeración.* México: Continental, 1986.

Hernandez Valadez, Jose. *Manual de refrigeracion domestica.* Mexico : EditorialTrillas, 1988.

Mackay, William. *Embedding Microcontrollers in Domestic Refrigeration Appliances.* EEUU: Motorola Microcontroller Division, 1999.

Maloney, Timothy J. *Electrónica Industrial Moderna.* 3 ed. México: Prentice Hall, 1997.

Marsh, Warren; Olivo, Thomas. *Principios de refrigeración.* México: Diana, 1986

Maxim. How to Simplify the Interface between Microcontroller and Temperature Sensor (www.maxim-ic.com).

Maxim. Temperature Sensor Ics Simplify Designs. (www.maxim-ic.com).

Motorola. 68HC908GP32 Technical Data. EEUU: Motorola 1999.

Motorola. M68ICS08GP In-Circuit Simulator: Operators manual. EEUU: Motorola 1999.

Microchip. Analog for the Digital Age. EEUU: Microchip 2000.

Quirós Solís, Leonardo. *Controlador Electrónico para Refrigeradores Domésticos*. Tesis de Bachillerato en Electrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Electrónica: 1998.

Ramírez, Juan Antonio. *Refrigeración*. Barcelona : Editorial CEAC, 1999.

APÉNDICES

Apéndice A. 1: Comunicación SPI

Se tratará con más detalle la comunicación SPI del microcontrolador debido a la importancia que tiene en el presente proyecto. La comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) permite la comunicación del microcontrolador con varios esclavos por medio de 4 líneas; sus principales características son:

- Comunicación serie full duplex.
- Velocidad de transmisión máxima igual a la mitad de la frecuencia del bus interno del μC .
- Existe un maestro y varios esclavos.
- La comunicación sólo puede ser iniciada por el maestro.
- Cada uno de los esclavos posee una terminal de CS que debe ser habilitada por el maestro al iniciar la comunicación.

La interfase con el bus SPI se realiza por medio de 4 señales:

1. MOSI: Master Out / Slave In.
2. MISO: Master In / Slave Out.
3. SCLK: Serial Clock.
4. #SS: Slave Select.

Apéndice A. 2: Abreviaturas

LCD: Liquid Cristal Display (Pantalla de cristal líquido).

MCU: Microcontrolador.

SPI: Serial peripheral Interface. (Interfase serial de periféricos).

SCI: Serial communications interface. (Interfase serial de comunicaciones).

ADC: Analog to digital converter. (Convertidor analógico a digital).

ROM: Read only memory. (Memoria de sólo lectura).

RAM: Random access memory. (Memoria de acceso aleatorio).

DDRAM: Display data RAM.

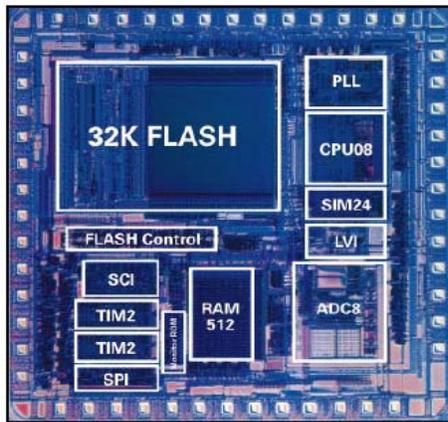
CGRAM: Character Generator RAM.

PLL: Phase Locked Loop.

ANEXO 1: Microcontrolador Motorola 68HC908GP32

68HC908GP32

The Motorola 68HC908GP32 provides designers with a highly integrated 8-bit FLASH microcontroller (MCU) solution. The 68HC908GP32 builds on the success of the 68HC05 family by offering a code compatible migration path to higher performance FLASH MCUs.



Features

- 32,256 bytes of in-system programmable FLASH memory
- FLASHwire technology – a single wire interface for in-circuit programming which does not require high voltage for entry
- 10,000 program/erase cycles
- FLASH programming as fast as 2 msec for a 64 byte block
- FLASH memory security features
- 512 bytes of user RAM
- High-performance 68HC08 CPU core
 - Code compatible with 68HC05
 - 8.0 MHz internal operating frequency at 5.0 V
- Peripheral modules
 - Computer Operating Properly (COP) watchdog
 - SCI asynchronous serial communications port
 - Full duplex operation
 - 32 programmable baud rates
 - Interrupt driven operation
 - 8-bit or 9-bit character length
 - SPI synchronous serial communications port
 - Full duplex operation with master and slave modes
 - Up to 4 MHz master, and 8 MHz slave mode frequencies
 - 8-channel 8-bit analog-to-digital-converter
 - Dual 16-bit two-channel timers with input capture, output compare, and PWM modes
 - Timebase module with eight user selectable periodic real-time interrupts
 - Auto wake-up out of stop capability
- Memory-mapped I/O registers
- 33 bi-directional input/output (I/O) lines, including:
 - 10 mA sink/source capability on all I/O pins
 - 15 mA sink capability on five I/O pins
 - Software programmable pullups on all I/O pins
 - Keyboard scan with selectable interrupts on eight I/O pins
- Internal pullups to V_{DD} on RESET and IRQ pins for reduced system cost
- Vectored interrupts
 - Selectable sensitivity on external interrupt (edge- and level-sensitive or edge-sensitive only)
 - External interrupt mask bit and acknowledge bit
- Illegal address reset

68HC908GP32

- Illegal opcode reset
- Low Voltage Inhibit with selectable trip points
- Clock options
 - 32 KHz crystal compatible oscillator and on-chip PLL
 - External clock
- Bi-directional RESET pin
- Power-saving Stop and Wait modes
- 40-pin DIP, 42-pin SDIP, and 44-pin QFP packages
- Pin compatible with the 68HC908GP20
- V_{DD}/V_{SS} pins adjacent for easy bypass capacitor connection
- Hyper-text linked on-line databook:
 - MC68HC908GP32/H
- Cost effective, full-featured development tools that support programming, in-circuit debug, simulation, and in-circuit emulation

Application Notes

- AN-HK-32/H In-circuit Programming of FLASH Memory in the 68HC908GP32
- AN-HK-31/H Using the MC68HC908GP32 in place of MC68HC908GP20
- AN1222/D Arithmetic Waveform Synthesis with 68HC05/68HC08 MCUs
- AN1221/D Hamming Error Control Coding Techniques with the HC08 MCU
- AN1219/D M68HC08 Integer Math Routines
- AN1218/D HC05 to HC08 Optimization
- More MCU application notes available on our website

Comprehensive Development Support

Broad third party software and hardware support – see our web site at <http://www.mcu.motps.com>

EASY TO ORDER KITS		RESALE*
M68ICS08GP	GPxx programmer/in-circuit debug kit	\$295
KITMMEVS08GP	Cost effective real-time in-circuit emulator kit	\$1450
KITMMDS08GP	High performance real-time in-circuit emulator kit	\$3950

INDIVIDUAL DEVELOPMENT TOOL COMPONENTS		RESALE*
M68MMDS0508	High performance emulator	\$2950
M68MMPFB0508	MMEVS Platform Board	\$395
M68EML08GP32	Emulation module daughter board	\$495
M68CBL05B	Low noise flex-cable	\$120
M68CBL05C	Low noise flex-cable	\$120
M68TB08GP32P40	40-pin DIP target head adapter	\$175
M68TB08GP32B42	42-pin SDIP target head adapter	\$175
M68TC08GP32FB44	44-pin QFP target head adapter	\$175
M68TQS044SAG1	44-pin TQ socket with guides	\$50
M68TQP044SAM01	44-pin TQPACK	\$70

*All prices are manufacturer's suggested resale for North America.

©1999 Motorola, Inc. All rights reserved. Motorola is a registered trademark, and DigitalDNA, and the DigitalDNA logo are trademarks of Motorola, Inc. All other trademarks are the property of their respective companies.

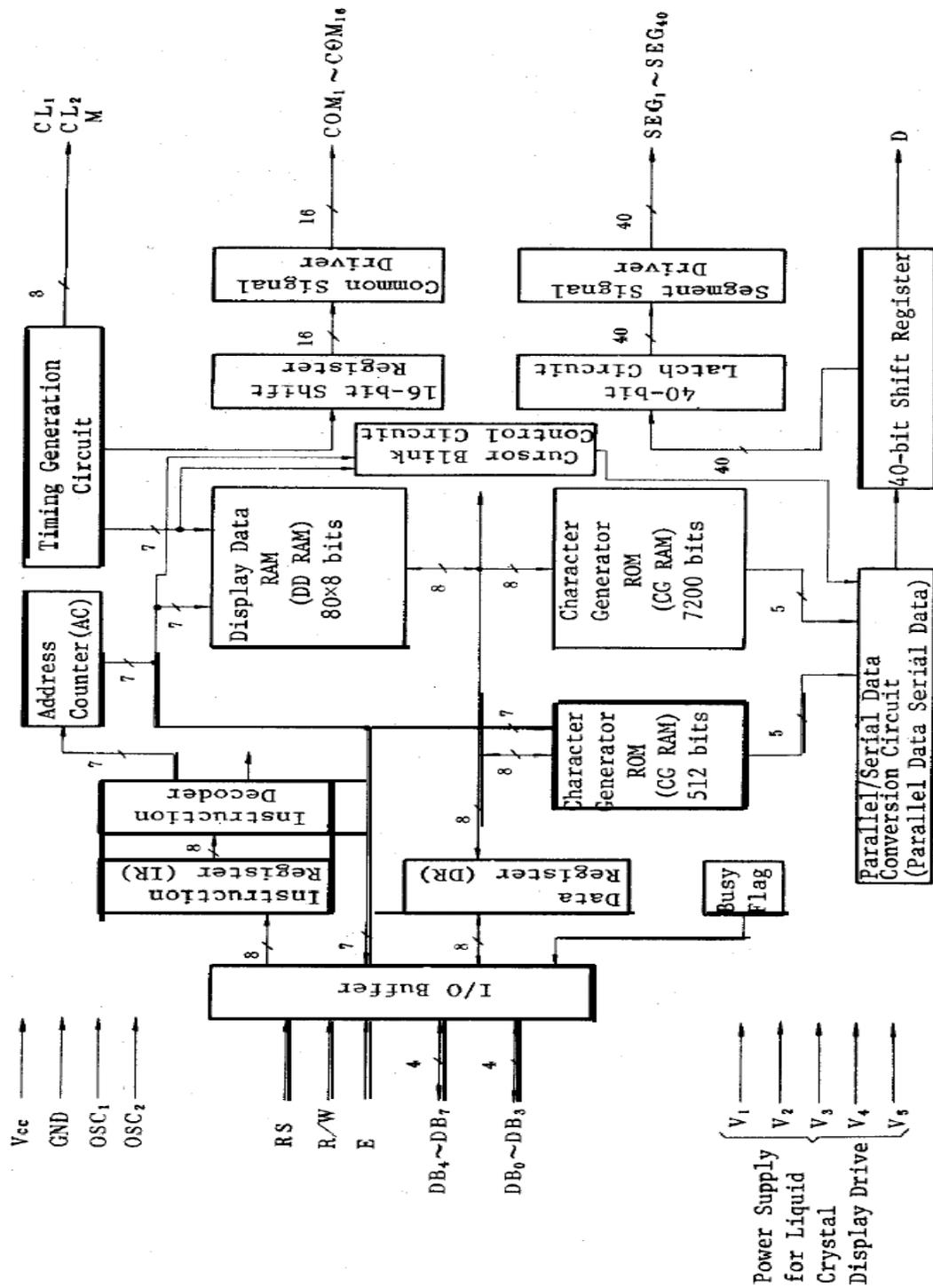
This product incorporates SuperFlash® technology licensed from SST.



ANEXO 2: Caracteres disponibles en el controlador de LCDs HD44780

Higher bit Lower bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)		W	0	P	1	E						
xxxx0001	(2)	!	1	A	Q	a	a	a	7	7	4	5	9
xxxx0010	(3)	"	2	B	R	b	r	r	7	7	x	e	0
xxxx0011	(4)	#	3	C	S	c	s	s	7	7	e	e	x
xxxx0100	(5)	\$	4	D	T	d	t	t	7	7	t	t	0
xxxx0101	(6)	%	5	E	U	e	u	u	7	7	u	u	0
xxxx0110	(7)	&	6	F	V	f	v	v	7	7	v	v	0
xxxx0111	(8)	'	7	G	W	g	w	w	7	7	w	w	0
xxxx1000	(1)	(	8	H	X	h	x	x	7	7	x	x	0
xxxx1001	(2)	)	9	I	Y	i	y	y	7	7	y	y	0
xxxx1010	(3)	*	#	J	Z	j	z	z	7	7	z	z	0
xxxx1011	(4)	+	\$	K	K	k	k	k	7	7	k	k	0
xxxx1100	(5)	,	<	L	#	l	l	l	7	7	l	l	0
xxxx1101	(6)	-	=	M	I	m	i	i	7	7	i	i	0
xxxx1110	(7)	.	>	N	n	n	n	n	7	7	n	n	0
xxxx1111	(8)	/	?	O	o	o	o	o	7	7	o	o	0

ANEXO 3: Diagrama de bloques del controlador de LCDs HD44780



ANEXO 4: Instrucciones del controlador de LCDs HD44780

● Instruction and Display Correspondence

- (1) 8-bit operation, 8-digit × 1-line display (using internal reset)

Table 7 shows an example of 8-bit × 1-line display in 8-bit operation.

The HD44780 functions must be set by Function Set prior to display. Since the display data RAM can store data for 80 characters, as explained before, the RAM can be used for displays like the lightning board when combined with display shift operation.

Since the display shift operation changes display position only and DD RAM contents remain unchanged, display data entered first can be output when the return home operation is performed.

- (2) 4-bit operation, 8-digit × 1-line display (using internal reset)

The program must set functions prior to 4-bit operation. Table 8 shows an example. When power is turned on, 8-bit operation is automatically selected and the first write is performed as an 8-bit operation. Since nothing is connected to DBO ~DB₃, a rewrite is then required. However, since one operation is completed in two accesses of 4-bit operation, a rewrite is needed as a function (see Table 8).

Thus, DB₄ ~DB₇ of the function set is written twice.

- (3) 8-bit operation, 8-digit × 2-line display

For 2-line display, the cursor automatically moves from the first to the second line after the 40th digit of the 1st line has been written. Thus, if there are only 8 characters in the first line, the DD RAM address must again be set after the 8th character is completed.

(See Table 9) Note that the first and second lines of the display shift are performed. In the example, the display shift is performed when the cursor is on the second line. However, if shift operation is performed when the cursor is on the first line, both the first, and second lines move together. When you repeat the shift, the display of the second line will not move to the first line, the same display will only move within each line many times.

(Note) When using the internal reset, the conditions in "Power Supply Condition Using Internal Reset Circuit" must be satisfied. If not, the HD44780 must be initialized by instruction. (See "Initializing by Instruction")

Table 7 8-bit Operation, 8-digit 1-line Display Example(Using Internal Reset)

io.	Instruction	Display	Operation
1	Power supply ON (HD44780 is initialized by the internal reset circuit)		Initialized. No display appears.
2	Function Set RS R/W DE7 DB0 0 0 0 0 1 1 0 0 * *		Sets to d-bit operation and selects 1-line display lines and character font. (Number of display lines and character fonts cannot be changed hereafter.)
3	Display ON/OFF Control 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0		Turns on display and cursor. Entire display is in space mode because of initialization.
4	Entry Mode Set 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0		Sets mode to increment the address by one and to shift the cursor to the right at the time of write to the DD/CG RAM. Display is not shifted.
5	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0	H	Write "H". The DD RAM has already been selected by initialization when the power is turned on. The cursor is incremented by one and shifted to the right.
6	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1	H I	Writes "I".
7	.	.	
8	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1	HITACHI	Writes "I".
9	Entry Mode Set 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	HITACHI	Sets mode for display shift at the time of write.
10	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0	ITACHI	Writes "Space".
11	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1	TACHI M	Writes "M".
12	.	.	

13	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1	MICROKO	Writes "O".
14	Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 0 0 * *	MICROKO	Shifts only the cursor position to the left.
15	Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 0 0 * *	MICROKO	Shifts only the cursor position to the left.
16	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1	MICROCO	Writes "C" (correction). The display moves to the left.
17	Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 1 1 * *	MICROCO	Shifts the display and cursor position to the right.
18	Cursor or Display Shift 0 0 0 0 0 1 0 1 * *	MICROCO	Shifts display and cursor position to the right.
19	Write Data to CG RAM/DD RAM 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1	MICROCOM	Writes "M".
20	⋮	⋮	
21	Return Home 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	HITACHI	Returns both display and cursor to the original position (Address 0).