

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN

INFORME FINAL

“Sistema electrónico para control, protección y reporte de fallas en un equipo de refrigeración comercial”

EMPRESA

CAMtronics S.A

ESTUDIANTE

Álvaro Arturo Alvarado Obando

PROFESOR ASESOR

Ing. Carlos Badilla C.

CARTAGO - 4 Julio, 2001

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Descripción de la empresa.	6
2.1 Descripción General	6
2.2 Descripción del departamento donde se realizó el proyecto de graduación.	6
3. Descripción detallada del problema a resolver y sus efectos.	8
4. Antecedentes del proyecto.	13
5. Marco Teórico.	14
5.1 Funcionamiento del enfriador.	14
5.1.1 Principio de funcionamiento del enfriador.	14
5.1.2 Componentes del enfriador.	14
5.2 El triac como interruptor.	22
5.3 Multiplexor Analógico 4051.	23
5.4. Termistores NTC.	24
6. Especificaciones del sistema.	26
7. Descripción detallada de la solución.	29
7.1 Descripción General.	29
7.2 Aspectos de hardware	33
7.2.1 Tarjeta de Control.	33
7.2.2 Tarjeta de Potencia.	39
7.2.3 Protección del equipo contra fallas por picos (descargas) en la línea de alimentación 110v.	48
7.2.4 Tarjeta de interfaz con la PC para programación.	49
7.3 Aspectos de software.	53
7.3.1 Software propio del microcontrolador GP32, para realizar todas la funciones relacionadas con el control y monitoreo del estado del enfriador.	53
7.4 Interfaz de comunicación del dispositivo con la PC.	65
8. Objetivos.	66
8.1 Objetivo General	66
8.2 Objetivos Específicos.	66
9. Metodología	67
9.1 Diseñar el hardware necesario para desarrollar el módulo de control y procesamiento digital.	67
9.2 Diseño del hardware necesario para desarrollar el módulo de potencia	68
9.3 Diseñar el diagrama del circuito impreso preliminar para ambos módulos y gestionar su fabricación.	69

9.4 Desarrollar el software necesario para la funciones del módulo de control (microcontrolador).	69
9.5 Realizar pruebas de funcionamiento sobre el módulo de control y procesamiento digital y determinar las correcciones necesarias.	70
9.7 Desarrollar el software para la comunicación del módulo de control con la PC, vía puerto serie.	72
9.8. Verificar el adecuado funcionamiento del dispositivo en conjunto: módulo de control, etapa de potencia y software de comunicación con la PC.	72
9.9. Obtener diagrama de circuito impreso final del sistema y gestionar su fabricación.	73
10. Aporte del estudiante al proyecto.	74
11. Transferencia de Tecnología	75
12. Cronograma de actividades.	76
13. Bibliografía.	79
14. Apéndices	80
14.1 Hoja de información actualizada del proyecto de graduación.	80
14.2 Hojas de datos técnicos de componentes.	81
14.2.1 Microcontrolador MC68HC908GP32.	81
14.2.2 Búfer de tercer estado 74HCT125.	98
14.2.3 NTE5600 Gated Triac.	100
14.2.4 MOC3021 Triac Driver.	102
12.2.5 Multiplexor Analógico CMOS 4051.	104

Índice de figuras.

ÍNDICE.....	II
Figura 5.1 Ciclo de succión y expulsión del gas refrigerante en el compresor.	16
Figura 5.2 Diagrama que muestra el proceso de condensación del gas expulsado por el compresor.	17
Figura 5.3 Flujo de aire frío en el interior del enfriador con los abanicos inferiores activados.	19
Figura 5.4 Flujo de aire frío en el interior del enfriador con los abanicos superiores activados.	20
Figura 5.5 Ciclo de refrigeración que permite llevar a cabo el proceso de enfriamiento.	21
Figura 5.6 Símbolo eléctrico del triac.....	22
Figura 5.7 Multiplexor analógico Texas Instruments 4051.	23
Figura 5.8 Curva característica de resistencia vrs temperatura en un termistor NTC.....	25
Figura 7.1 Diagrama General de la solución propuesta.	32
Figura 7.2 Configuración utilizada para el termistor NTC.	34
Figura 7.3 Curva experimental que relaciona la temperatura del termistor con el voltaje resultante en el canal ADC del MCU MC68HC08GP32.....	36
Figura 7.4 Diagrama de circuito completo de la tarje de control.	38
Figura 7.5 Diagrama para ilustrar el funcionamiento del sensor de corriente utilizado.	40
Figura 7.6 Curva Experimental que relaciona la corriente pico consumida por el componente con el voltaje resultante en el canal ADC utilizando el sensor de corriente utilizado.	42
Figura 7.7 Diagrama lógico del triac driver utilizado(MOC 3021).	45
Figura 7.8 Esquemático que ilustra la implementación de la tarjeta de potencia para lograr controlar el encendido de los componentes y sensar la corriente que consumen.	45
Figura 7.9. Diagrama de la implementación de la tarjeta de potencia y su conexión con el MCU (tarjeta de control).	46
Figura 7.10 Esquemático que muestra la fuente de alimentación del equipo.	48 48
Figura 7.11 Conexión del MCU GP32 para establecer el modo monitor.....	51
Figura 7.12 Comunicación Bidireccional (Half Dúplex)..... a través del pin A0.....	52 52
Figura 7.13 Diagrama de flujo que muestra la operación del programa principal de control del enfriador.....	60
Figura 7.14 diagrama de flujo que ilustra la manera en que se realiza el sensado y control de la temperatura en el interior de las cuatro cámaras del enfriador.	62
Figura 7.15 Diagrama de flujo correspondiente al ciclo de descongelamiento.....	63
Figura 7.16 Diagrama de flujo correspondiente al ciclo de estabilización.	64
Figura 12.1 Diagrama de GANTT.....	77

Índice de Tablas.

Tabla 7.1 Valores obtenidos experimentalmente para relacionar la temperatura del termistor con el voltaje resultante en el canal ADC.....	35
Tabla 7.2 Valores experimentales para relacionar el voltaje obtenido en el canal ADC con la corriente pico que circula por el componente respectivo.	42
Tabla 12.1 Actividades a realizar.....	76

1. Introducción

Como en la mayoría de los proyectos de graduación, el sistema desarrollado busca satisfacer una necesidad existente en algún sector de la industria o de la sociedad costarricense.

En este documento, se describe la forma en que se desarrolló un sistema electrónico capaz de controlar la temperatura en un equipo de refrigeración. El sistema es capaz de proteger los diferentes componentes que integran el enfriador y reportar las fallas que se puedan presentar en alguno de ellos.

La protección del enfriador consiste en administrar los recursos del enfriador buscando maximizar el rendimiento de cada uno de sus componentes (abanicos, compresor y resistencia).

Cabe destacar que el sistema de refrigeración rendimiento utilizado no es de uso doméstico, sino que se trata de un enfriador de uso comercial.

2. Descripción de la empresa.

2.1 Descripción General

La empresa CAMtronics S.A se encuentra ubicada en el Parque Industrial de Cartago. Actualmente su actividad principal se centra en la manufactura de productos electrónicos por contrato. Recientemente se ha introducido en la empresa un departamento dedicado al diseño y diagnóstico de sistemas electrónicos basados en microcontroladores.

El Ingeniero Enrique Ortiz Carazo es el Gerente General de CAMtronics S.A. El número de empleados es de aproximadamente cien personas en su mayoría operarios que se encargan del ensamblaje de piezas y componentes. El resto del equipo de trabajo se encuentra en el área administrativa y técnica.

2.2 Descripción del departamento donde se realizó el proyecto de graduación.

Como se mencionó en la descripción de la empresa, se ha creado un Departamento de Diseño y Diagnóstico de sistemas electrónicos por contrato. Con este nuevo departamento CAMtronics S.A espera introducirse en el área de diseño de sistemas electrónicos y en su manufactura. Los sistemas que se desarrollan se relacionan con el control y monitoreo de sistemas de refrigeración (enfriadores, aire acondicionado automotriz, etc). Los diseños son contratados por diferentes empresas en su mayoría nacionales.

El equipo de trabajo en el departamento de diseño y diagnóstico está conformado por dos técnicos en electrónica, y por un ingeniero en electrónica. Los encargados del departamento son el Ingeniero Eliécer Fernández que actualmente labora como consultor de la empresa y el Gerente General el Sr. Enrique Ortiz Carazo.

El equipo con que cuenta el departamento incluye 2 osciloscopios, 2 computadoras personales una impresora, software para programación de microcontroladores, software para el desarrollo de esquemáticos y tarjetas de circuitos impresos, multímetros y herramientas varias para trabajo.

Para realizar las pruebas de los diseños realizados, se cuenta con equipos prestados por las empresas que realizan el contrato. Se cuenta también con un laboratorio para la elaboración de circuitos impresos.

3. Descripción detallada del problema a resolver y sus efectos.

La empresa que contrató los servicios de CAMtronics S.A para la realización del proyecto se dedica principalmente a la comercialización y distribución de alimentos y refrescos. Como se anotó anteriormente CAMtronics S. A se reserva el derecho de dar a conocer el nombre de la empresa que contrató sus servicios, de manera que en lo sucesivo se hará referencia a esta empresa como “empresa cliente”.

Actualmente la empresa cliente utiliza equipos de refrigeración para almacenar sus productos. Los enfriadores existentes son controlados por dispositivos analógicos y esto hace que sea difícil el control de algunas variables relacionadas principalmente con la protección del equipo y el reporte de fallas.

El enfriador que utiliza la empresa cliente consta de 4 cámaras, dos superiores y dos inferiores. El funcionamiento básico del enfriador incluye el control de la temperatura en las cuatro cámaras. Cada cámara tiene un abanico con el cual se hace circular el gas refrigerante que se produce en el evaporador. Para lograr que el gas circule, el compresor también tiene un abanico llamado abanico del condensador.

Además existe una resistencia de descongelamiento que se debe encender cada vez que sea necesario descongelar.

La empresa cliente manifestó su interés por adquirir un sistema de control que funcione en el enfriador de 4 puertas, y que controle la temperatura de las cuatro cámaras internas (superior izquierda, superior derecha, inferior izquierda e inferior derecha). El sistema que se desarrolló es capaz de administrar los componentes de un enfriador de 2 ó 4 cámara internas.

A continuación se mencionan los principales problemas que sufre la empresa cliente y sus efectos.

3.1 Incapacidad de los sistemas existentes para monitorear el estado de los diferentes componentes que integran el congelador (abanicos, compresor y evaporador). No se cuenta con un sistema capaz de detectar ni reportar la presencia de algún fallo ni mucho menos capaz de determinar la fuente exacta de la falla, lo que dificulta su reparación. Además cuando un componente falla, el congelador no funciona correctamente lo que puede provocar nuevas fallas y un consumo excesivo de electricidad. Así por ejemplo, si falla el abanico del evaporador, el aire refrigerante difícilmente circulará a través de las cámaras del congelador y éste tardará mucho tiempo en alcanzar la temperatura apropiada. Esto ocasiona que se consuma mucha energía y a corto plazo produce un daño permanente en el compresor.

3.2 Dificultad para ajustar las temperaturas de operación del congelador. Anteriormente la empresa realizaba el ajuste de las temperaturas de operación por medio de potenciómetros, esto dificultaba el ajuste de esta variable. Además se presta para que con frecuencia, personas ajenas al servicio técnico alteren el funcionamiento del sistema.

3.3 Ineficiencia en el manejo del compresor. Dado que el compresor es uno de los componentes más caros y delicados del congelador se hace necesario un sistema que permita garantizar la protección de este dispositivo y alargar así su vida útil. El compresor debe apagarse cuando el congelador se deje mucho tiempo con la puerta abierta. Cuando alguna puerta del congelador se deja abierta por mucho tiempo se produce un aumento de temperatura en las cámaras del refrigerador. Esto ocasiona que el compresor se encienda para contrarrestar el incremento de calor y mantener las temperaturas de operación establecidas. Esto afecta la eficiencia en la operación del congelador y produce un mayor consumo de energía.

Además, cuando ningún abanico está encendido no es necesario que el compresor esté activado ya que no hay gas refrigerante. Por último, debe existir un mínimo de tiempo entre cada ciclo de trabajo del compresor con el fin de permitir que el aceite se estabilice en el interior del compresor.

3.4 Incapacidad de los sistemas existentes para monitorear las temperaturas en las cámaras. Se necesita un sistema capaz de monitorear las temperaturas en cada cámara del congelador y en el evaporador. lo que se requiere es poder verificar la temperatura exacta del congelador mientras se encuentra operando normalmente y así evitar la utilización de termómetros externos que resultan muy costosos.

3.5 Incapacidad de los sistemas existentes para controlar la temperatura individualmente en cada cámara. La mayoría de los sistemas de refrigeración existentes no pueden determinar cuál cámara necesita ser enfriada y por lo tanto deben encender todo el sistema con el fin de estabilizar la temperatura en el interior del enfriador. la empresa cliente solicitó que con el sistema desarrollado, el enfriador active únicamente los componentes que son estrictamente necesarios para controlar la temperatura en el interior de las cámaras. esto constituye a su vez un importante ahorro en el consumo de energía del sistema.

Para resolver el problema de los congeladores que utiliza, la empresa cliente pretende que camtronics s.a desarrolle un sistema electrónico que le permita resolver los problemas mencionados.

La prioridad de la empresa cliente está centrada en la protección de los componentes que integran el congelador, principalmente el compresor. se requiere además un sistema capaz de monitorear el fallo de algún componente, reportarlo y determinar su ubicación. el sistema debe poder conectarse a una computadora personal para realizar el diagnóstico del congelador. la interfaz con la pc deberá ser “amigable” y desarrollada en ambiente windows

Dado que la empresa cliente no ofrece propuestas de solución al problema, fue el estudiante junto con la empresa CAMtronics S.A quienes propusieron la solución que permitiera resolver el problema y cumplir con los objetivos planteados.

Para CAMtronics S.A el contrato con la empresa cliente representa un negocio que traerá grandes beneficios a corto plazo. El primer pedido realizado por la empresa cliente asciende a las 100 unidades lo cual representa grandes ganancias, no sólo por la venta directa de los sistemas desarrollados sino también por el posterior mantenimiento preventivo que se le dará a cada unidad.

El sistema propuesto no existe actualmente en el mercado y su desarrollo traerá grandes beneficios a la empresa cliente, ya que este no será demasiado costoso y permitirá sustituir los demás equipos existentes en el mercado.

Por otra parte, para Camtronics S.A es muy importante encontrar la forma de abaratar los costos de producción y de facilitar el mantenimiento de los sistemas que produce, es por esto que fue necesario desarrollar un sistema que requiriera la menor cantidad de componentes posibles. Para esto se utilizó el diseño más económico posible.

CAMtronics S.A también ha manifestado su interés por proteger el programa del microcontrolador que se utilice, contra copias ilícitas para evitar el plagio del sistema. Esto por cuanto en realidad es muy sencillo para otra empresa copiar el diseño del hardware de la tarjeta pero no así el programa del microcontrolador.

Por otra parte, se estudió la posibilidad de eliminar las bases de los microcontroladores para que éstos puedan estar soldados directamente sobre la tarjeta que se desarrollada (esto se discutirá más ampliamente el Descripción de la Solución). La tarjeta debe permitir por lo tanto realizar actualizaciones del software del microcontrolador (MCU) sin necesidad de extraer el MCU y como se mencionó antes, debe permitir además, proteger el programa contra copias y plagios.

4. Antecedentes del proyecto.

El proyecto surgió como una necesidad de la empresa cliente por mejorar los sistemas de refrigeración que utilizan en la actualidad. El problema es detectado cuando se dificulta la ubicación de fallas en el congelador, lo que a su vez produce un consumo excesivo de electricidad y gastos adicionales a la empresa.

Además se manifestó en la empresa cliente una necesidad por realizar el proceso de enfriamiento en una forma más eficiente, de manera que disminuyan los costos de operación del enfriador, ya sea por consumo de energía o por desperfecto en los componentes.

En realidad era la primera vez que la empresa cliente proponía la fabricación de un sistema que sea capaz de realizar en forma automatizada el monitoreo de fallas en un congelador. Anteriormente, la detección de fallas se realizaba de manera manual, era necesario desarmar completamente el congelador y revisar cada uno de los componentes por separado.

La necesidad de monitorear la temperatura actual del congelador hizo necesario además, un sistema que sea capaz de sensar la temperatura sin necesidad de colocar termómetros en cada cámara cada vez que se realiza una revisión de rutina.

5. Marco Teórico.

5.1 Funcionamiento del enfriador.

5.1.1 Principio de funcionamiento del enfriador.

El congelador que utiliza la empresa cliente consta de cuatro cámaras dos superiores y dos inferiores. El funcionamiento básico del congelador es similar al que existe en un sistema de refrigeración convencional.

El sistema de refrigeración típico utiliza un principio físico básico: cuando un líquido se transforma en vapor, puede absorber mucho más calor que si se mantiene en estado líquido. De esta manera, el enfriador utilizado emplea un refrigerante líquido para remover el aire caliente que se encuentra en el interior del enfriador. La temperatura de vaporización de un líquido refrigerante puede controlarse fácilmente mediante presión. Es interesante anotar aquí, que el agua no es un buen refrigerante líquido por su alta temperatura de evaporación (100°C, 1 atm), pues la presión tendría que reducirse mucho para bajar su temperatura de evaporación, lo cual no es económico.

5.1.2 Componentes del enfriador.

A continuación se menciona el papel que cumple cada uno de los componentes del enfriador utilizado. El sistema electrónico desarrollado administra la activación de cada uno de estos componentes de manera que el proceso de enfriamiento se realice de la forma más eficiente posible.

5.1.2.1 Abanico del Evaporador.

El evaporador es el encargado de remover el calor presente en el interior de las cámaras del enfriador. Se le llama evaporador por que el líquido refrigerante se vaporiza en su interior. Está hecho de un material térmico-conductor y está colocado a manera de tubo enrollado a través del enfriador para cubrir mayor superficie.

El abanico del evaporador es entonces, el encargado de hacer circular el aire frío que produce el evaporador a través del interior del enfriador. Como se verá adelante, este componente se mantiene encendido aún cuando el enfriador alcanza la temperatura correcta para asegurar que el aire frío circule dentro del enfriador.

5.1.2.2. Compresor.

El compresor es el componente más caro y más delicado del enfriador, es por esta razón que, el sistema desarrollado debe administrar su uso para maximizar su rendimiento y asegurar su protección.

La función del compresor es recuperar el líquido refrigerante después de que ha circulado como vapor a través del interior del evaporador.

De esta manera, el compresor succiona el interior del tubo del evaporador disminuyendo así la presión en su interior. Como es conocido, cuando la presión disminuye, el punto de ebullición de un líquido disminuye y se facilita entonces su vaporización. El gas refrigerante entra a través de la línea de succión del compresor, donde es comprimido. El ciclo de succión y expulsión del gas refrigerante en el compresor se ilustra en la figura 5.1.

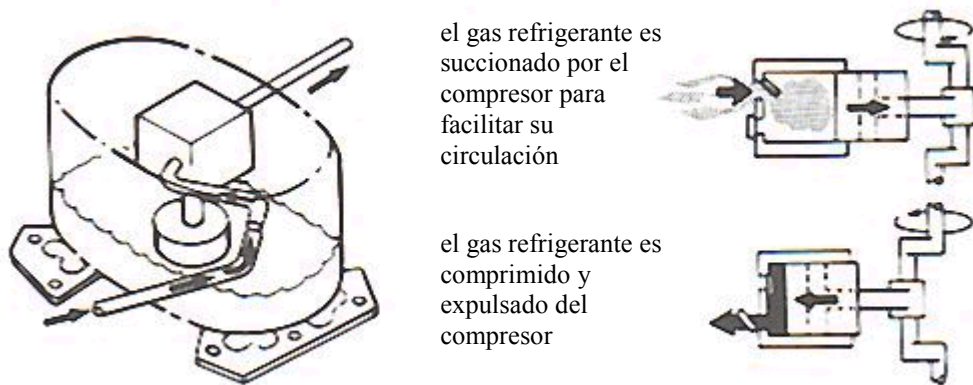


Figura 5.1 Ciclo de succión y expulsión del gas refrigerante en el compresor.

5.1.2.3. Abanico del Condensador.

Una vez comprimido, el vapor del enfriador es forzado al exterior de la cámara de compresión del evaporador a través de un tubo de salida en el compresor. Esta descarga del compresor está bajo una alta presión y por lo tanto a una alta temperatura. Es necesario, entonces, transformar el gas refrigerante caliente y comprimido en líquido, para que pueda ser utilizado de nuevo para extraer calor del enfriador.

El enfriador utilizado consigue realizar esta transformación utilizando el abanico del condensador. El condensador enfría el gas refrigerante utilizando el siguiente principio: el calor fluye siempre una zona caliente a una zona más fría. Como la temperatura del gas es mucho más alta que la temperatura en el exterior del enfriador, el condensador utiliza el abanico para facilitar el flujo de calor hacia el exterior del enfriador. A medida que el gas refrigerante se enfría, regresa al estado líquido y está listo para circular nuevamente a través del evaporador. En la figura 5.2 se ilustra el proceso de condensación del gas expulsado por el compresor.

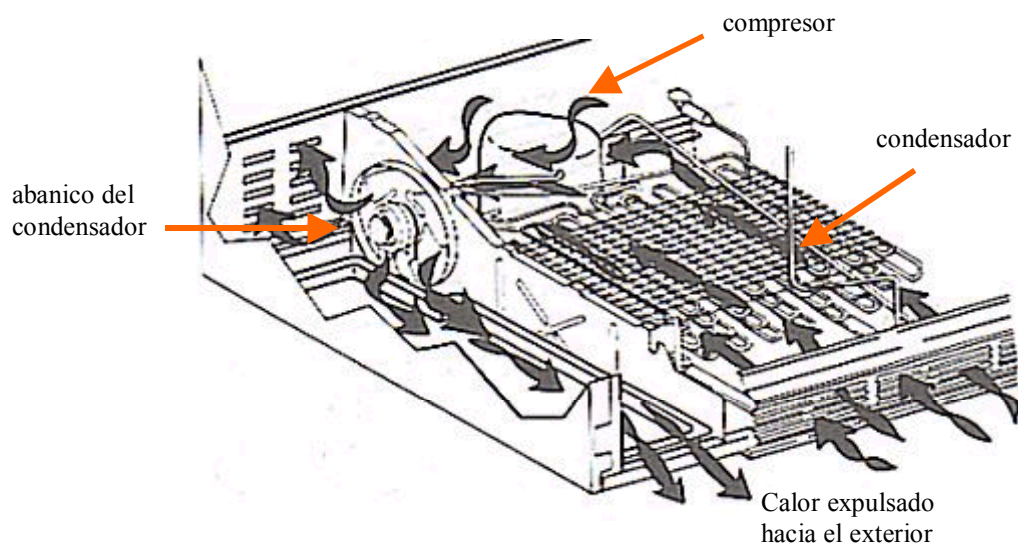


Figura 5.2 Diagrama que muestra el proceso de condensación del gas expulsado por el compresor.

5.1.2.4 Abanicos de las cámara internas.

Como ya se describió, el enfriador consta de 4 cámaras y cada cámara cuenta con un abanico. Cada abanico se encarga de distribuir el aire frío producido en el evaporador a través del interior del enfriador. Lo que se busca en estos casos es dar prioridad a las cámaras inferiores. Esta prioridad hace que el transporte del aire frío producido por el evaporador sea más eficiente. Además se reduce sustancialmente el diferencial térmico existente entre las 4 cámaras internas del enfriador. Además, esto disminuye considerablemente el consumo de energía ya que los abanicos superiores sólo se encienden cuando es necesario compensar alguna perturbación en la temperatura producida por ejemplo, al abrir repentinamente alguna de las puertas superiores.

El proceso de enfriamiento se ilustra en los siguientes esquemas.

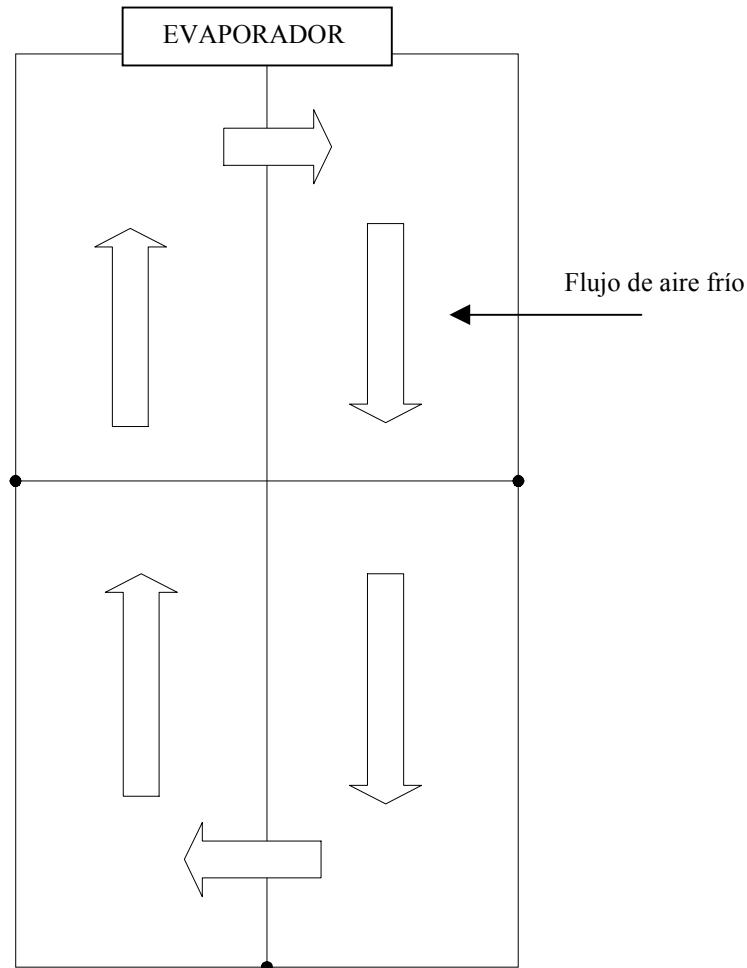


Figura 5.3 Flujo de aire frío en el interior del enfriador con los abanicos inferiores activados.

La figura 5.3 ilustra el caso en que las cámara inferiores no han alcanzado la temperatura de operación. En este caso, únicamente trabajan los abanicos inferiores, sin importar la temperatura de las cámaras superiores. Puede observarse en la figura 5.3 que el aire frío producido por el evaporador se transporta uniformemente a través de todas las 4 cámaras del enfriador.

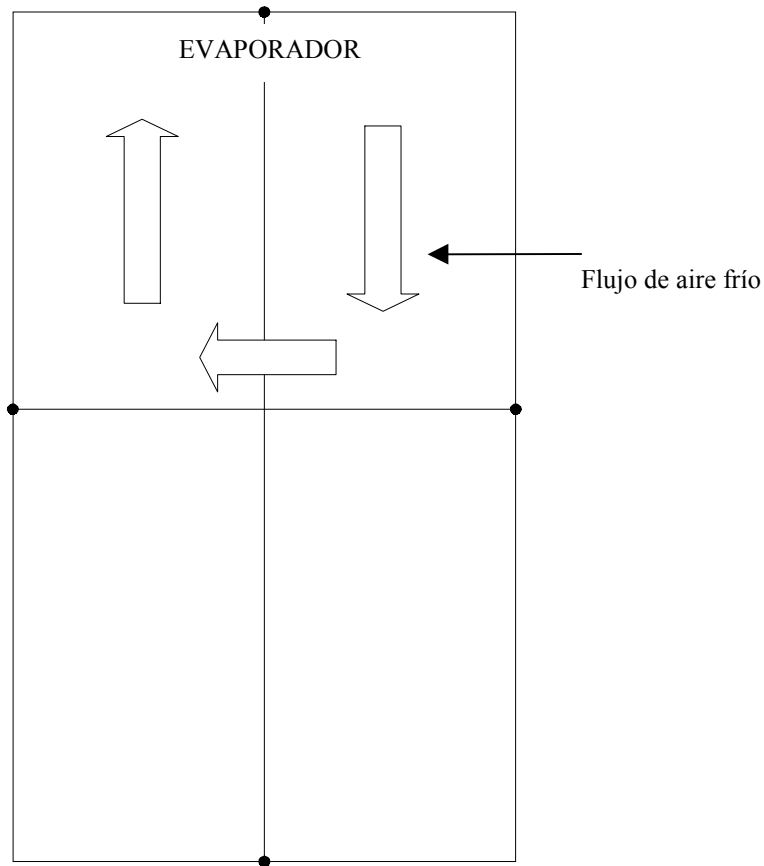


Figura 5.4 Flujo de aire frío en el interior del enfriador con los abanicos superiores activados.

La figura 5.4 ilustra el caso en que las cámaras inferiores han alcanzado la temperatura de operación. Cuando esto ocurre, los abanicos superiores pueden activarse en caso de que sea necesario compensar la temperatura en las cámara superiores. Esto permite agilizar el transporte de aire frío en las cámara superiores, ya que como se observa en la figura 5.4, el aire sólo circula en la parte superior del enfriador.

A continuación se muestra en la figura 5.5, el ciclo de refrigeración que permite que se lleve a cabo el proceso de enfriamiento dentro del congelador.

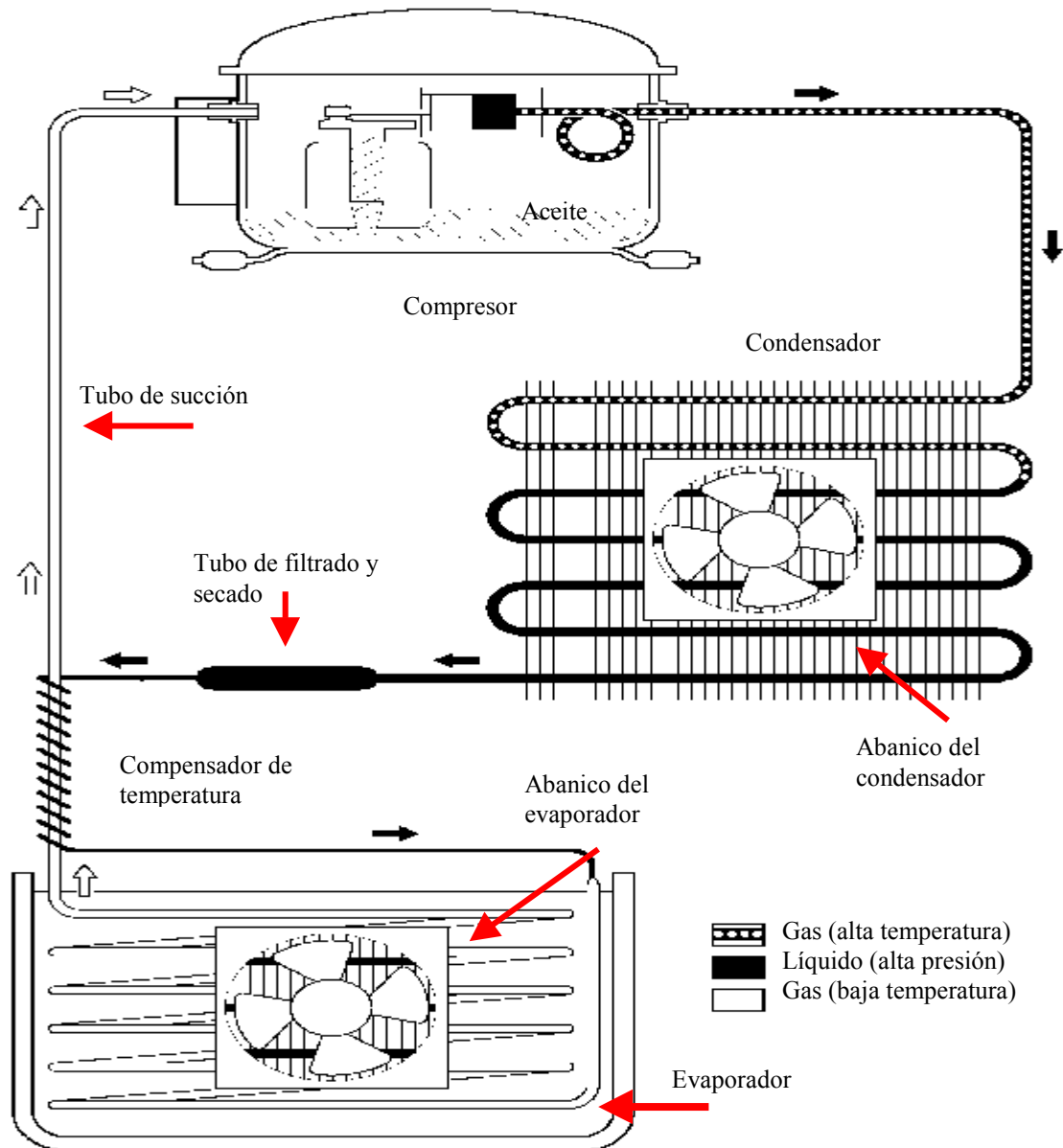


Figura 5.5 Ciclo de refrigeración que permite llevar a cabo el proceso de enfriamiento.

5.2 El triac como interruptor.

Para desarrollar la interfaz de potencia se utilizó un driver basado en triacs.

Este dispositivo semiconductor puede utilizarse como interruptor electrónico para corriente alterna. Reemplaza con muchas ventajas a los relés y otros tipos de interruptores mecánicos, ya que por no tener partes móviles como los contactos metálicos, no sufre desgaste durante su operación. Además su operación es muy rápida.

El triac utilizado posee tres terminales llamados: MT1, MT2 y Gate según lo muestra la figura 5.6. Los terminales MT1 Y MT2 son los terminales de unión para cerrar un circuito. Cuando se le aplica una señal al terminal de control llamado compuerta o gate, se cierran los contactos y el aparato que esta conectado a través de él se enciende.

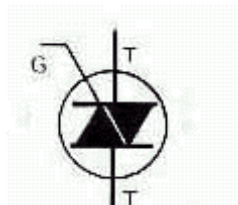


Figura 5.6 Símbolo eléctrico del triac.

Por medio del triac se logró controlar el bombillo, los motores de los abanicos, el compresor y la resistencia de descongelamiento.

Otra de las ventajas de este dispositivo es que es muy compacto. Sin embargo, tal y como está fabricado, es un dispositivo con una capacidad de control de potencia muy reducida. En general está pensado para aplicaciones de pequeña potencia, con tensiones que no superan los 1000V y corrientes máximas de 30A.

5.3 Multiplexor Analógico 4051.

El multiplexor Analógico 4051, es un multiplexor que puede ser controlado digitalmente o analógicamente. Tiene un total de 8 canales analógicos. En el sistema desarrollado, se utilizó el modo digital, para poder controlarlo a través de los puertos de salida del MCU de Motorola utilizado.

Cada uno de los canales del multiplexor puede ser seleccionado a través de 3 señales de control.

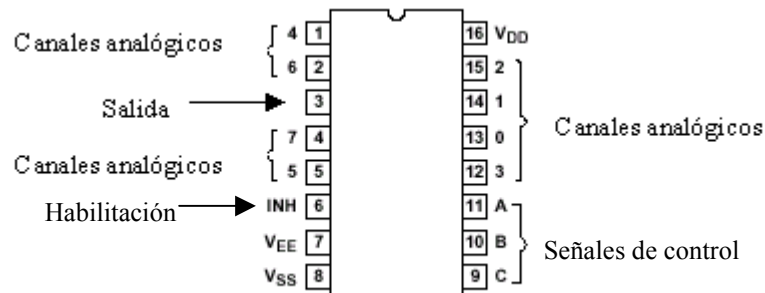


Figura 5.7 Multiplexor analógico Texas Instruments 4051.

El voltaje máximo permitido en cada canal analógico es de $20 V_{pp}$. Esto no representa un problema, ya que como se verá más adelante, en la aplicación realizada se utiliza un voltaje que no excede los $5 V_{pp}$.

5.4. Termistores NTC.

Para realizar el sensado de la temperatura se utilizaron termistores NTC. Estos termistores son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidos por un cuerpo semiconductor con un coeficiente de temperatura elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura.

Se emplean en su fabricación óxidos semiconductores de níquel, zinc, cobalto, etc.

La relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial (no cumple la ley de Ohm). Dicha relación cumple con la fórmula siguiente:

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}$$

donde A y B son constantes que dependen del resistor. La siguiente curva muestra esa variación en un termistor NTC típico.

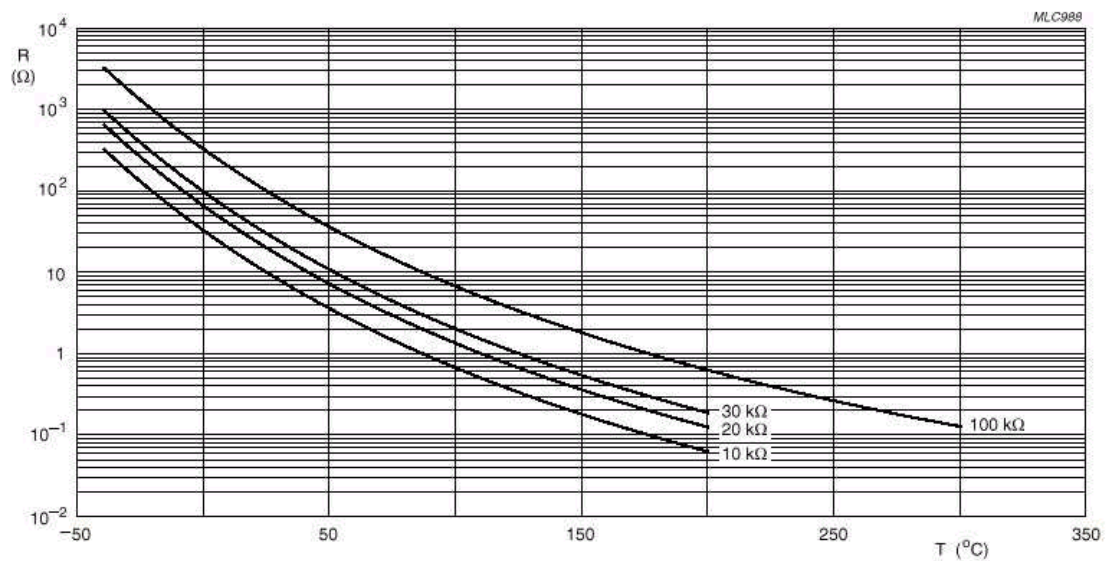


Figura 5.8 Curva característica de resistencia vs temperatura en un termistor NTC.

Como se observa en la figura 5.8, la característica tensión-corriente (V/I) de un resistor NTC presenta un comportamiento especial, ya que cuando las corrientes que lo atraviesan son pequeñas, el consumo de potencia es demasiado pequeño para registrar aumentos apreciables de temperatura, o lo que es igual, descensos en su resistencia. En esta parte de la curva característica la relación voltaje-corriente es prácticamente lineal y en consecuencia cumple la ley de Ohm. Como se observará más adelante, se utiliza esta propiedad para obtener una curva experimental bastante lineal, que relaciona el voltaje producido por el termistor con su temperatura.

Es importante aclarar además, que en la aplicación desarrollada en este proyecto, la corriente que circula por el termistor, no es capaz de producirle un aumento apreciable de temperatura y por tanto la resistencia del termistor depende únicamente de la temperatura del medio ambiente en que se encuentra.

6. Especificaciones del sistema.

Las funciones principales del sistema a desarrollado son las siguientes:

6.1 Control de la temperatura de operación asignada en ambas cámaras.

La cámara inferior tiene prioridad sobre la cámara superior, de manera que se sea más eficiente el proceso de transporte de temperatura por medio del aire frío proveniente del evaporador. El abanico del evaporador debe permanecer encendido siempre que esté activado algún abanico de cualquier cámara interna. El proceso de enfriamiento se lleva a cabo como se ilustra en las figuras 5.3 y 5.4 de manera que se maximice la eficiencia del sistema.

6.2 Asignación de la temperatura de operación vía puerto serie.

Específicamente se asignará el rango de temperaturas (temperatura máxima y temperatura mínima) para controlar la temperatura del enfriador.

6.3 Alerta sobre mal funcionamiento en los abanicos, el evaporador y el compresor.

El sistema verifica el correcto funcionamiento de los componentes del enfriador y en caso de falla alertará al usuario. La fuente exacta de la falla puede ser identificada a través del puerto serie.

6.4 Control de los ciclos de descongelamiento (defrost) del enfriador.

La duración del ciclo de descongelamiento puede programarse vía puerto serial. Sin embargo la especificación de la empresa cliente establece que la duración del mismo será de 10 minutos.

El intervalo de tiempo que debe transcurrir para iniciar el ciclo descongelamiento también es programable por el puerto serie. Como precaución el descongelamiento se realiza también cuando la temperatura del evaporador descienda de -2°C . Por solicitud de la empresa cliente esta temperatura de protección también se puede variar a través del puerto serial.

Cuando finalice el período de descongelamiento se establece un tiempo de espera de 45 segundos en el cual únicamente el compresor y el abanico del evaporador encenderán.

6.5 Protección del compresor.

El compresor debe apagarse cuando la puerta del enfriador se deje abierta durante mucho tiempo (1 minuto). Además, nunca podrá activarse en caso de que falle el abanico del evaporador o el abanico del condensador.

6.6 Consulta del estado actual de funcionamiento del enfriador.

Por medio del puerto serie, es posible consultar información sobre el estado actual del enfriador, esta información incluye:

- 6..6.1 Rango de temperatura actual de operación.
- 6..6.2 Corriente actual consumida por los componentes del enfriador.
- 6..6.3 Temperatura actual en cada cámara.
- 6..6.4 Reporte de errores.

6..7 Capacidad del sistema para realizar actualizaciones del programa de control del microcontrolador directamente sobre la tarjeta de control sin extraerlo de la tarjeta.

6.8 Implementación por separado de la tarjeta de control y la tarjeta de potencia para evitar daños en la etapa de control y facilitar la manipulación del equipo.

6.9 Capacidad para controlar la temperatura individualmente en cada cámara.

Con el sistema desarrollado el enfriador activa únicamente los componentes que son estrictamente necesarios para controlar la temperatura en el interior de las cámaras. Esto constituye a su vez un importante ahorro en el consumo de energía del sistema.

6.10 Protección del equipo contra fallas en la línea de alimentación (principalmente descargas atmosféricas) mediante algún sistema económico de protección.

7. Descripción detallada de la solución.

7.1 Descripción General.

La solución propuesta a la empresa consistió en un sistema de control electrónico capaz de controlar, proteger y reportar fallas presentes en el sistema de refrigeración.

El sistema consiste en una tarjeta principal de control la cual está basada en un microcontrolador de la familia MC08 de Motorola, esta tarjeta permite la comunicación serial con un computador para poder realizar el diagnóstico y cambio de variables en el enfriador.

Como el control del enfriador requiere del manejo de equipos que consumen mucha energía (compresor, resistencia de descongelamiento) se requiere además una segunda tarjeta que permita controlar estos componentes a través de las señales digitales del microcontrolador y que a la vez garantice la protección de la tarjeta de control. En esta segunda tarjeta se incluyeron también los sensores de corriente que se requieren para determinar el estado de los componentes del enfriador.

Como se mencionó antes, por solicitud de la empresa CAMtronics S.A , la tarjeta de control se desarrolló de tal manera que permitiera programar el microcontrolador sin necesidad de extraer el chip de la tarjeta, por lo tanto fue necesario construir además una tercera tarjeta que permitiera interfazar una PC que contenga el nuevo programa, con la tarjeta de control, de acuerdo con las especificaciones establecidas por el MCU a utilizar.

Un aspecto importante a tratar aquí es que la empresa cliente solicitó que el sistema fuera capaz administrar las funciones de un enfriador de 2 ó de 4 puertas. La diferencia entre ambos enfriadores únicamente son dos abanicos, por lo que resultó más económico desarrollar una sola tarjeta capaz de funcionar con ambos sistemas.

Por último, como se mencionó en el apartado 5.1.7, Camtronics S.A solicitó que el microcontrolador se pudiera programar a través de un puerto serial sin necesidad de extraer el chip de la tarjeta y sin necesidad de utilizar el programador que fabrica Motorola el cual es muy costoso. Gracias a la asesoría del ingeniero colombiano Gustavo Galeano¹ se logró implementar este sistema en la tarjeta de control.

El Ingeniero Gustavo A. Galeano A. trabaja como ingeniero de aplicación en la empresa Baron Electronics Co. Esta empresa es representante a nivel latinoamericano de la firma Motorola y está encargada de brindar asesoría y capacitación en el uso de componentes semiconductores de Motorola, principalmente MCUs. El Ing. Gustavo Galeano está en la mejor disposición para brindar ayuda y asesoría en el uso de los MCUs de Motorola.

Para lograr la programación en campo del microcontrolador fue necesario recurrir a una tercera tarjeta: “tarjeta de interface para programación”. La tarjeta interface podría haberse incluido en la tarjeta de control. Sin embargo Camtronics S.A requería que el precio de la tarjeta de control no aumentara, ya que existía un precio máximo fijado por la empresa cliente. Es por esta razón que la tarjeta de interface se realizó en una tarjeta independiente. Además, no era necesario que todas las tarjetas de control tuvieran el circuito de interface.

1. El Ing. Gustavo Galeano puede ser contactado a través del correo electrónico ggaleano@propuestadinamica.com o a través de la página de Internet: <http://www.propuestadinamica.com>

De esta manera el sistema cuenta con tres etapas de hardware:

- Tarjeta de Control
- Tarjeta de Potencia
- Tarjeta de interfaz con la PC para programación.

Como se verá en la sección de Aspectos de Hardware, la tarjeta de control tiene dos puertos para comunicación serial cada uno con funciones distintas. Uno de los puertos es para realizar la programación del microcontrolador en campo. El otro puerto es para realizar las operaciones rutinarias de cambio de variables en el enfriador (temperaturas, temporización, etc) y para consulta del estado de operación (diagnósticos). La razón por la cual no se utilizó un solo puerto es porque esto encarecería mucho la tarjeta de control, ya que sería necesario colocar los componentes de la tarjeta interface en la tarjeta de control.

Por otra parte los aspectos de software del sistema incluye el desarrollo de:

- Software propio del microcontrolador GP32, para realizar todas las funciones relacionadas con el control y monitoreo del estado del enfriador.
- Software para la comunicación del microcontrolador con una PC para realizar diagnósticos y cambio de variables.

A continuación (figura 7.1) se muestra el diagrama de solución que muestra las tarjetas de control, potencia e interface. Además se muestran los puertos seriales para programación del microcontrolador en campo y para la comunicación con una PC para el cambio de variables y consulta del estado del enfriador.

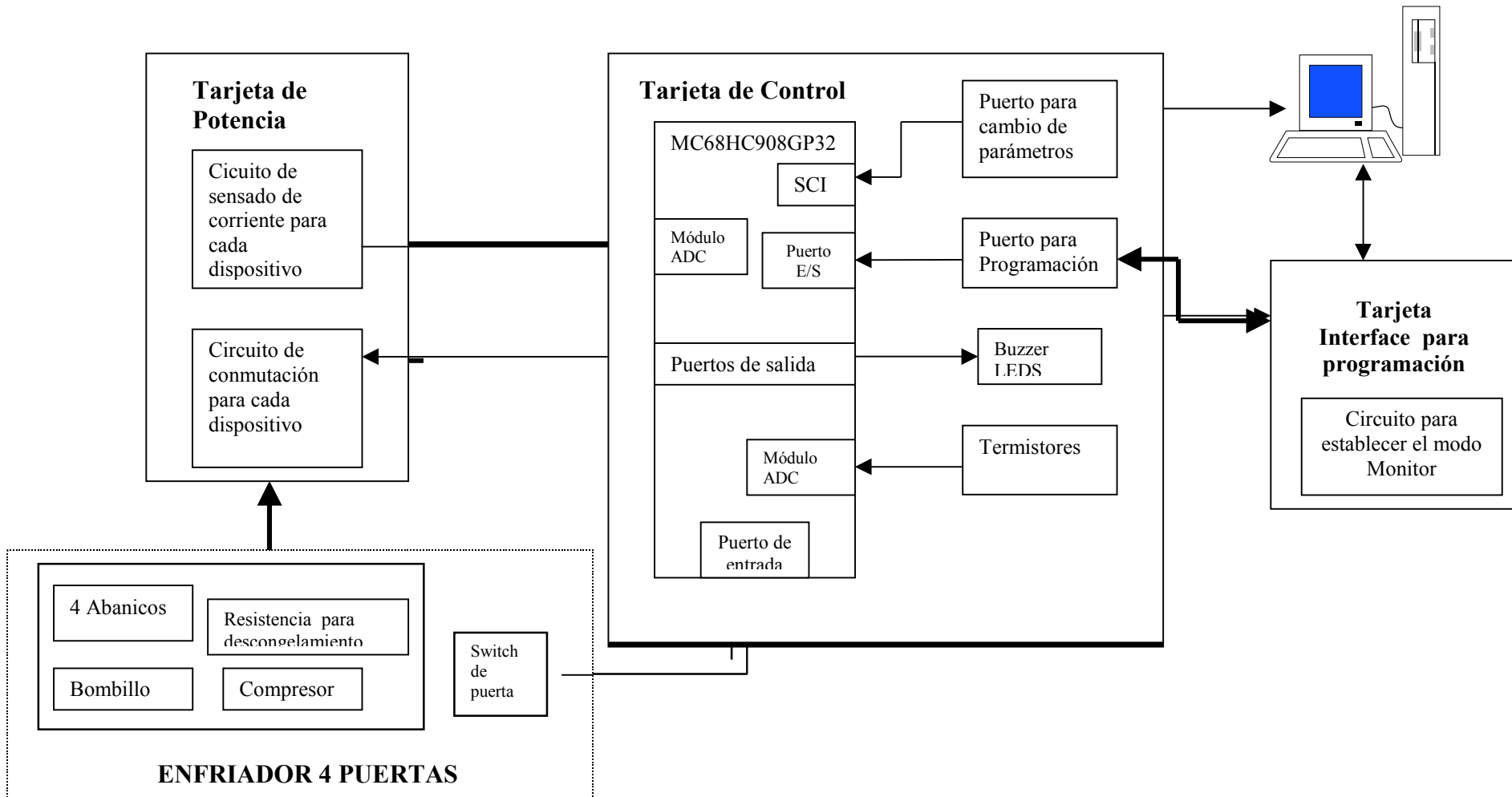


Figura 7.1 Diagrama General de la solución propuesta.

7.2 Aspectos de hardware

7.2.1 Tarjeta de Control.

La empresa CAMtronics S.A propuso que el proyecto se realizara mediante un sistema inteligente que fuera controlado por un microcontrolador de la familia Motorola, esto debido a que recientemente se realizó un acuerdo de cooperación y soporte técnico con esta firma fabricante de dispositivos electrónicos.

Como ya se ha indicado, la tarjeta de control está basada en el microcontrolador MC68HC08GP32 de Motorola que por sus características es el idóneo para la realización de la etapa de monitoreo y control de los componentes del congelador.

Para elegir el MCU se evaluaron aspectos como costo, cantidad de canales ADC, cantidad de puertos de entrada/salida, flexibilidad del set de instrucciones, capacidad para programación en campo y cantidad de memoria flash (EEPROM) para datos y código.

Este microcontrolador cuenta en total con 26 puertos de entrada/salida de los cuales 8 pueden ser configurados como puertos ADC. Los puertos ADC fueron utilizados para interpretar la temperatura en las cámaras del enfriador a través de los termistores ubicados en las mismas. Además, a través de estos puertos se obtuvo la corriente consumida por los componentes del enfriador.

No obstante, la cantidad de canales ADC del MCU no es suficiente para monitorear las temperaturas y las corrientes en el enfriador. Para solucionar este problema, se colocó un multiplexor analógico (ver sección 7.2.2, figura 7.9) en la tarjeta de potencia. El multiplexor utilizado fue el 4051 fabricado por Texas Instruments. Este multiplexor cuenta con 8 canales analógicos seleccionables digitalmente a través de 3 pines de control.

Para realizar el sensado de temperaturas en el congelador, se utilizaron termistores NTC dado que CAMtronics S.A tiene muchos de estos dispositivos en bodega y eso abarata los costos.

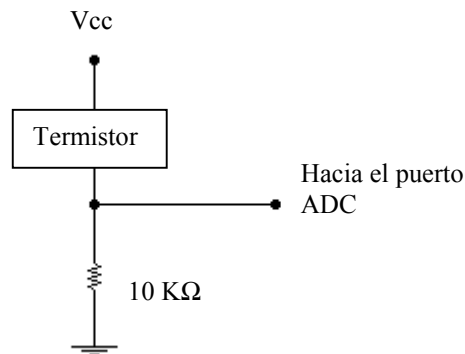


Figura 7.2 Configuración utilizada para el termistor NTC.

Los termistores NTC utilizados, son resistencias de coeficiente de temperatura negativo. Están constituidos por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura.

Cabe destacar que con la configuración utilizada, la corriente que circula por el termistor no es capaz de producirle un aumento apreciable de temperatura y por tanto la resistencia del termistor depende únicamente de la temperatura del medio ambiente en que se encuentra.

A partir de la configuración del termistor mostrada en la figura 7.2 se obtuvo la curva experimental que permite relacionar el voltaje producido en el terminal ADC con la temperatura del termistor.

Tabla 7.1 Valores obtenidos experimentalmente para relacionar la temperatura del termistor con el voltaje resultante en el canal ADC.

Temperatura (C)	Voltaje resultante en el canal ADC (V)	Valor Decimal	Valor Hexadecimal
0,5	3,072	157	9D
1,0	3,098	158	9E
1,5	3,141	160	A0
2,0	3,157	161	A1
2,5	3,176	162	A2
3,0	3,216	164	A4
3,5	3,235	165	A5
4,0	3,255	166	A6

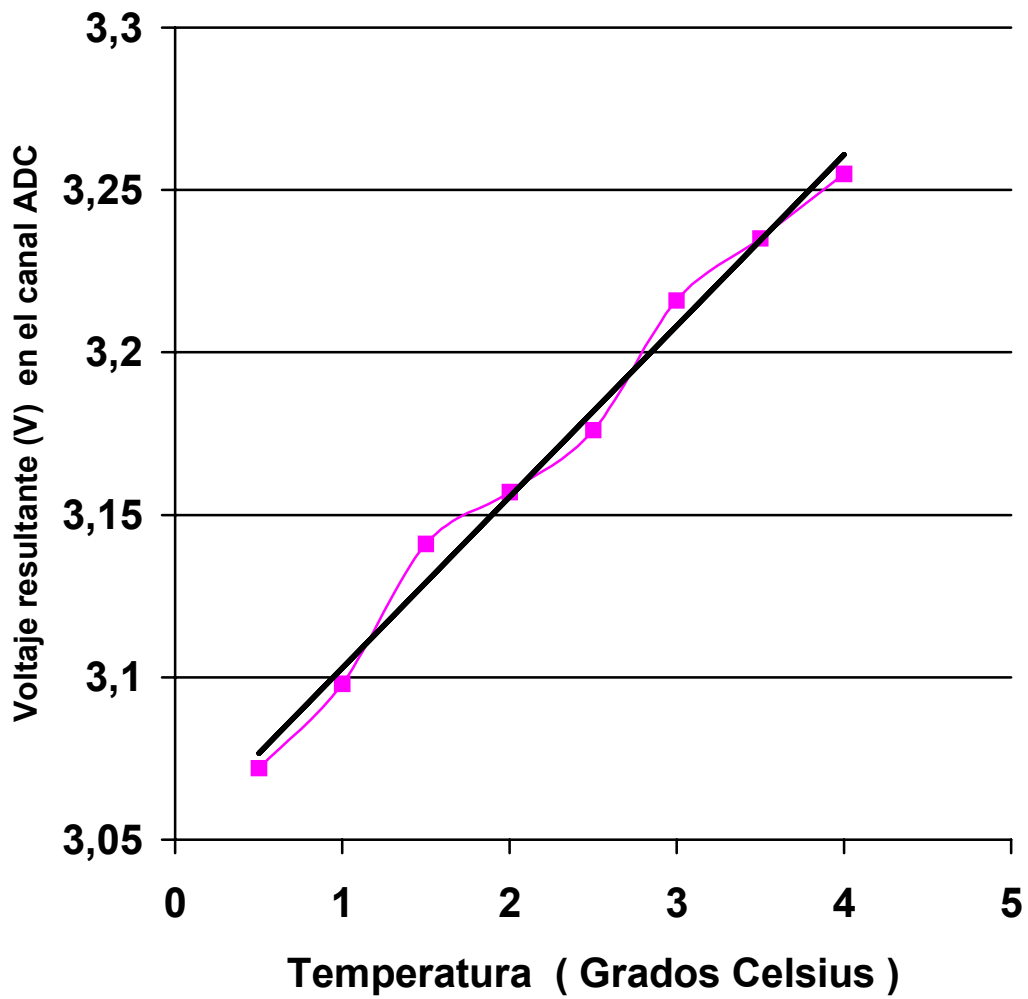


Figura 7.3 Curva experimental que relaciona la temperatura del termistor con el voltaje resultante en el canal ADC del MCU MC68HC08GP32.

De esta forma para obtener el valor de temperatura que lee el microcontrolador se puede aplicar la fórmula:

$$\text{Temperatura (}^{\circ}\text{C)} = 0,3756(\text{Valor decimal}) - 58,462$$

Donde Valor Decimal es el valor convertido a decimal del registro de datos del canal ADC en el microcontrolador.

Para obtener la corriente consumida por cada componente se utilizó el circuito que se describirá más adelante (figura 7.8) ya que éste corresponde a la tarjeta de potencia.

Por otra parte, el sensor de puerta abierta permite al microcontrolador tomar medidas cuando ésta permanezca abierta por mucho tiempo y así evita el desgaste del congelador. Por ejemplo, se requiere que la luz permanezca encendida durante unos segundos después de que se ha cerrado la puerta para poder revisar el estado del empaque de la puerta.

Mediante un buzzer y tres LEDs (verde, azul, rojo) se alerta al usuario sobre el estado actual del congelador. Durante operación normal el LED verde parpadea a razón de una vez por segundo. De la misma manera, cuando se presente un ciclo de descongelamiento, el LED amarillo parpadeará. Cuando se presente alguna falla grave en algún componente (abanicos, compresor, resistencia) el led rojo pardeará y sonará el buzzer.

A continuación se muestra el diagrama de circuito completo implementado en la tarjeta de control.

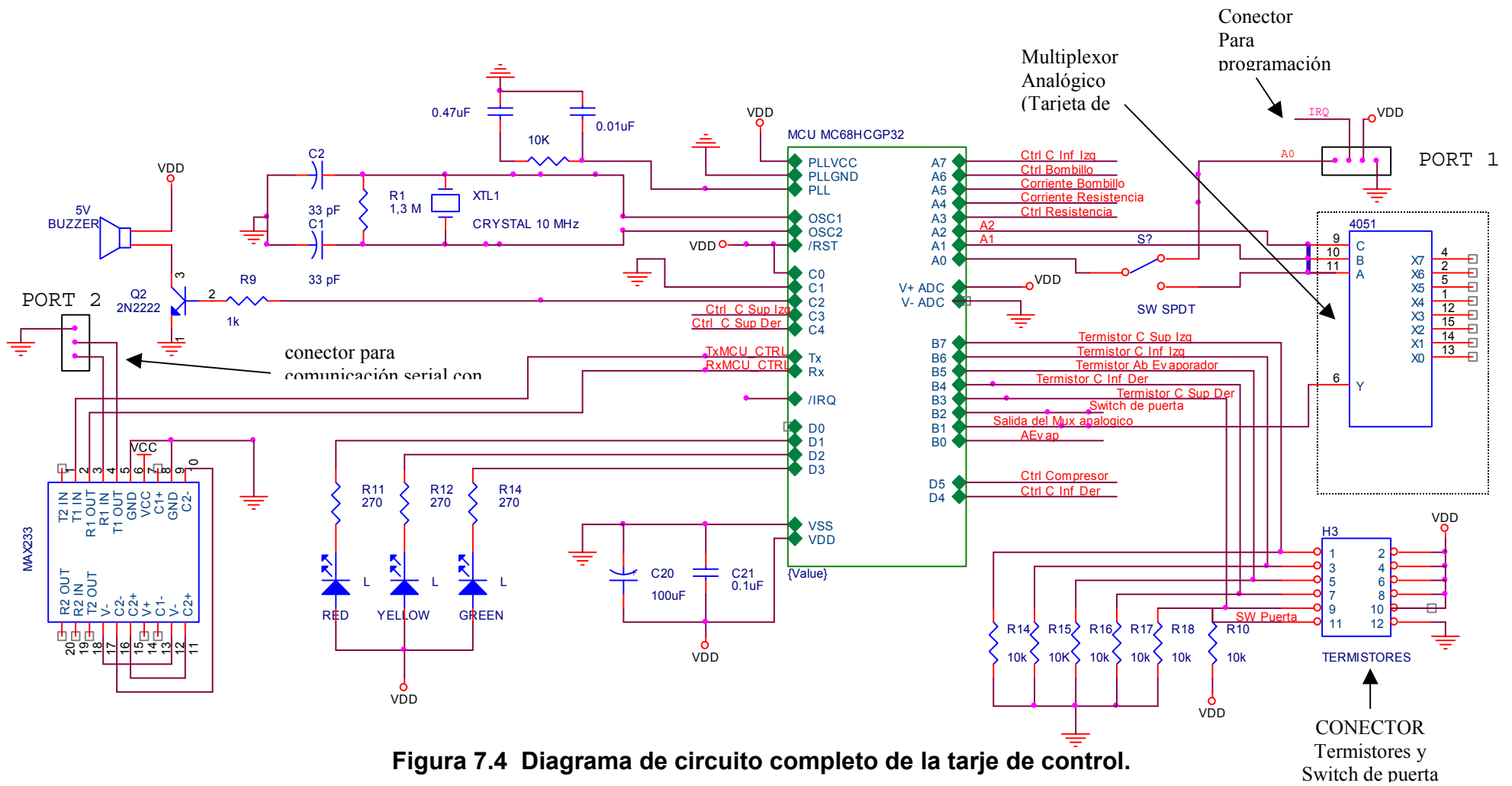


Figura 7.4 Diagrama de circuito completo de la tarjeta de control.

7.2.2 Tarjeta de Potencia.

La etapa de potencia tiene a su cargo el manejo de los componentes del congelador: abanicos de cámara superior, abanicos de cámara inferior, abanico del evaporador, abanico del condensador, compresor y resistencia de descongelamiento. Por petición de la empresa cliente esta etapa está colocada en una tarjeta independiente y se conecta a la etapa de procesamiento digital a través de un bus de 20 conductores. En esta etapa están ubicados los drivers que permiten controlar la activación de cada uno de los componentes. Además se ubicaron aquí los sensores de corriente que permiten verificar el funcionamiento de cada componente. Como se mencionó anteriormente en el Marco Teórico, se utilizó el multiplexor analógico 4051 de Texas Instruments, para seleccionar cada uno de los dispositivos por separado, debido a que los canales de ADC del microcontrolador no son suficientes.

La tarjeta de potencia se realizó con la ayuda del Ingeniero Eliécer Fernández Bermúdez¹ quien ya había trabajado antes con los dispositivos aquí incluidos.

7.2.2.1 Funciones de la tarjeta de potencia.

Como ya se mencionó, la tarjeta de potencia tiene dos funciones principales:

- 7.2.2.1.1 Sensar la corriente consumida por cada uno de los componentes (valor Pico)
- 7.2.2.1.2 Proveer una interfaz de potencia para poder controlar el encendido y apagado de cada uno de los componentes del enfriador.

1. El Ing. Eliécer Fernández Bermúdez puede ser contactado a través del correo electrónico pefb@hotmail.com

7.2.2.2 Sensor de Corriente

Para sensor la corriente pico consumida por los componentes del enfriador es necesario convertir la corriente que consumen estos dispositivos a algún parámetro que el microcontrolador pueda interpretar. De esta forma se utilizó un transformador de corriente-voltaje el cual teóricamente tiene una relación de transformación de 1A-0.01V, esto quiere decir que cuando se tiene una corriente de 1 A circulando a través del conductor central de la bobina, el voltaje que se induce en los terminales de ésta es de 10 mV. Esto simplemente representa el funcionamiento típico de una bobina.

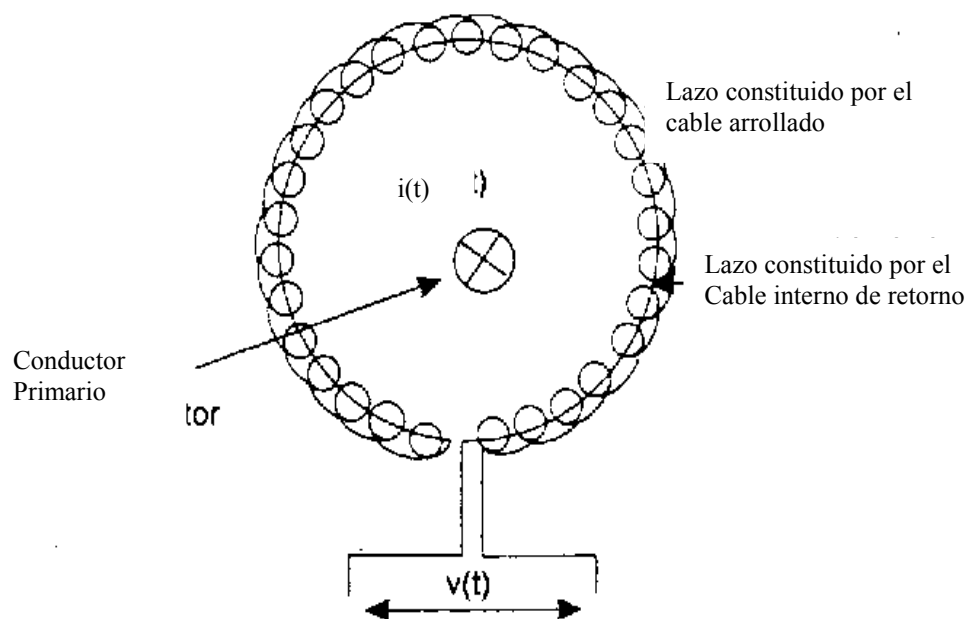


Figura 7.5 Diagrama para ilustrar el funcionamiento del sensor de corriente utilizado.

El voltaje rms en los terminales de la bobina $v(t)$ (secundario) está relacionado con la corriente rms en el conductor primario (conductor central) mediante la ecuación :

$$V_{rms} = \mu_0 n S I_{rms}$$

Donde:

n = densidad de vueltas en el arrollado del secundario.

S = área transversal de la bobina.

μ_0 = Permeabilidad relativa del núcleo

De esta forma el transformador que se utilizó simplemente es un transformador cuya característica de dimensiones y material hacen que

$$\mu_0 n S = 10 \times 10^{-3}.$$

Para utilizar el transformador de corriente, se hizo circular la corriente del dispositivo que se quiere medir a través del interior de la bobina (primario). De esta manera el voltaje resultante en los terminales de salida (secundario) es proporcional a la corriente sensada.

Dado que la corriente típica en los motores de los abanicos es de aproximadamente unos 400 mA rms y el convertidor ADC convierte señales de voltaje entre 0 y 5V, se colocó un amplificador operacional con una ganancia de lazo cerrado de $R1/R2 = 17$ para poder amplificar la señal en la salida de la bobina.

Por ejemplo, cuando la corriente en uno de los dispositivos alcanza los 500 mA pico, el voltaje inducido en el secundario sería aproximadamente 5 mV pico. Este es un voltaje demasiado pequeño y se perdería mucha resolución al ser leído en el canal ADC. De esta manera el amplificador permite que este voltaje aumente a 85 mV, mejorándose así la resolución en las lecturas de corriente de los componentes del enfriador.

A partir de la configuración del sensor de corriente (ver figura 7.8) se obtuvo la curva experimental característica para poder relacionar el voltaje obtenido en el canal ADC con la corriente pico que circula por el componente respectivo.

Tabla 7.2 Valores experimentales para relacionar el voltaje obtenido en el canal ADC con la corriente pico que circula por el componente respectivo.

Corriente (A)	Voltaje resultante en el canal ADC (V)	Valor Hexadecimal.
0,122	0,196	0AH
0,500	0,873	29H
0,756	1,216	3EH
1	1,501	52H
1,122	1,807	5CH
1,500	2,812	7BH
1,756	2,826	90H
2	3,316	A4H
2,122	3,412	AEH
2,500	4,020	CDH
2,756	4,231	E2H
3	4,860	F6H

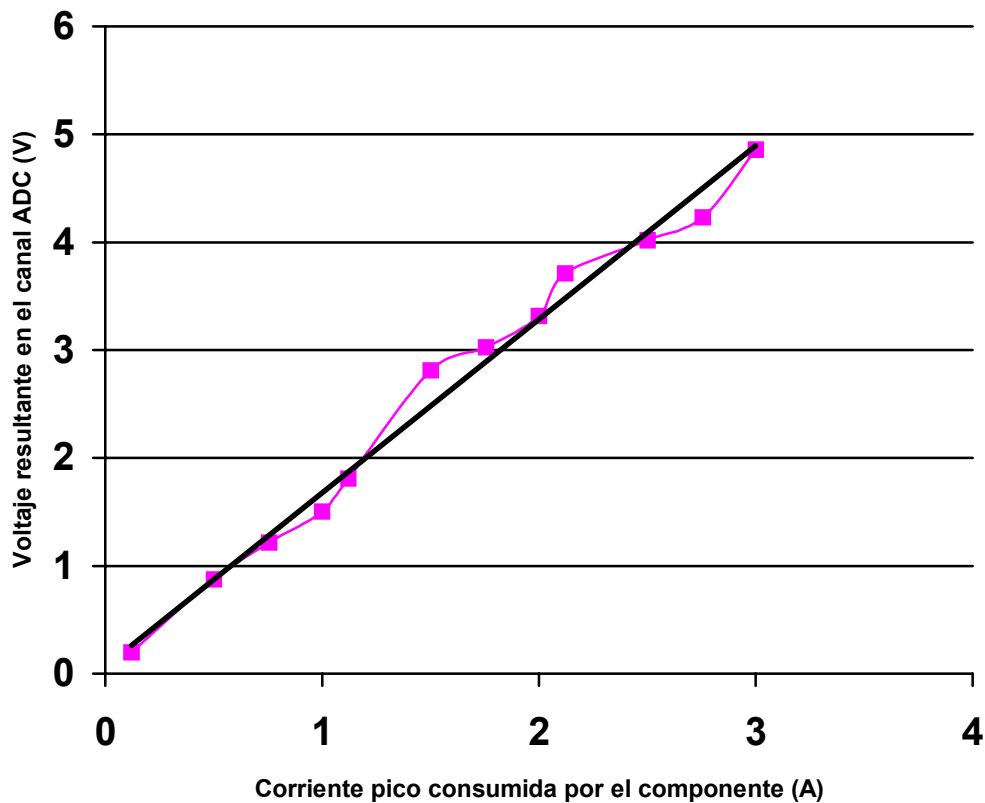


Figura 7.6 Curva Experimental que relaciona la corriente pico consumida por el componente con el voltaje resultante en el canal ADC utilizando el sensor de corriente utilizado.

De esta forma para obtener el valor de corriente que lee el microcontrolador se puede aplicar la fórmula:

$$\text{Corriente (Amperios)} = 0.0122(\text{Valor Decimal}) - 1,234$$

Donde Valor Decimal es el valor convertido a decimal del registro de datos del canal ADC en el microcontrolador.

7.2.2.3. Interfaz de potencia para el control del encendido y apagado de cada uno de los componentes del enfriador.

Dado que los componentes del enfriador consumen corriente alterna, para interfazar los componentes del enfriador fue necesario recurrir al triac. Este dispositivo puede controlar corriente alterna y además permite regular el valor rms de voltaje que se aplica a una carga. Sin embargo en esta aplicación solamente es necesario controlar el encendido y apagado de los componentes del enfriador, por lo tanto se utilizaron como interruptores ON – OFF para corriente alterna.

Como se mencionó en el Marco Teórico, el triac reemplaza con muchas ventajas a los relés y otros tipos de interruptores mecánicos, ya que por no tener partes móviles como los contactos metálicos, no sufre desgaste durante su operación. Además su operación es muy rápida.

Para seleccionar el triac adecuado se debió asegurar que éste fuera capaz de manejar el voltaje más alto que se pueda presentar en sus terminales principales (MT1 y MT2). Como se trabajó con un voltaje de línea de 110 Vrms, el voltaje más alto está alrededor de 155V pico. El triac seleccionado puede soportar voltajes pico incluso del orden de 400 V pico. Los triacs son muy sensibles a los sobrevoltajes, es por esto que fue necesario colocar un varistor de 130 V para minimizar la posibilidad de daño por sobrevoltaje.

El triac además debe ser capaz de manejar la máxima corriente que puede circular a través de la carga. Un criterio de diseño es utilizar siempre un triac que pueda soportar el doble de la corriente máxima que se transfiere a la carga.

En el caso de los motores de los abanicos, la corriente nominal es de 400mA. Por esta razón los triacs utilizados para controlar los abanicos pueden soportar corrientes de 2 A, lo cual permite garantizar con cierta seguridad que el triac no sufrirá daños.

Por su parte, la resistencia de descongelamiento consume una corriente de aproximadamente 6 A. Como la corriente es considerablemente alta, fue necesario colocar un triac más robusto que el de los abanicos. El triac seleccionado en este caso puede soportar corrientes hasta de 14 A.

Por último, el caso del compresor es el caso más crítico ya que consume una corriente nominal de 7 A. Además, durante el arranque la fuerte carga inductiva hace que se produzcan picos de corriente hasta de 30 A pero de muy corta duración, aproximadamente 250 ms. Por esta razón se utilizó un triac de 25 A para controlar la activación del compresor. Este triac puede soportar corrientes pico superiores a 25 A durante períodos de tiempo inferiores a aproximadamente 800ms.

Para controlar la conmutación del triac a través de los puertos de salida del MCU, fue necesario utilizar un triac driver, de manera que se garantice la conducción completa del triac para los 180 grados de la señal de 110V. Estos dispositivos están diseñados para funcionar con señales de control provenientes de sistemas digitales (0V-5V).

El triac driver utilizado consiste en un optoacoplador. La salida del driver es un “fototriac” o en inglés “phototriac”, de 400v. El fototriac es controlado con un led emisor de luz interno que realiza el acople óptico.

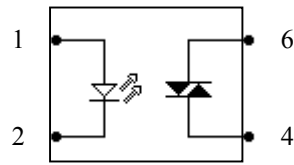


Figura 7.7 Diagrama lógico del triac driver utilizado(MOC 3021).

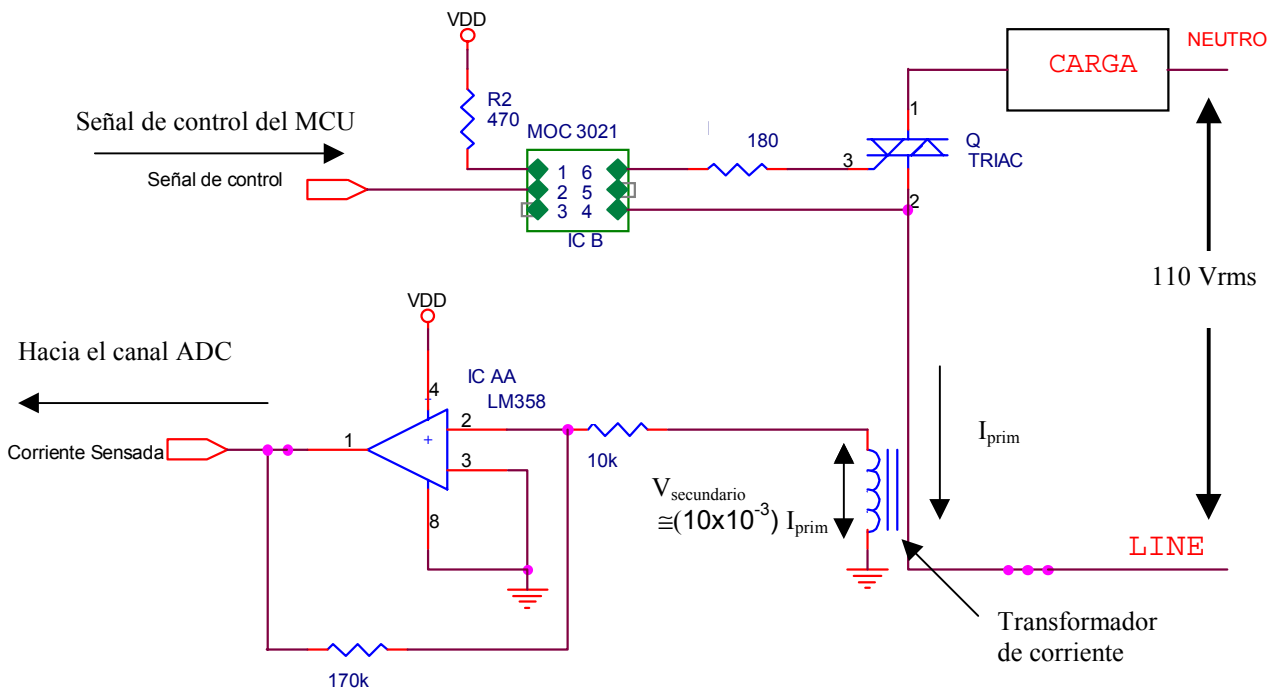


Figura 7.8 Esquemático que ilustra la implementación de la tarjeta de potencia para lograr controlar el encendido de los componentes y sensar la corriente que consumen.

El circuito de la figura anterior (Figura 7.8) se repite nueve veces en la tarjeta de potencia debido a que el control y monitoreo se realiza sobre 9 componentes en total. En la figura 7.9 se muestra un diagrama de bloques que describe la tarjeta de potencia y su conexión con el MCU (tarjeta de control).

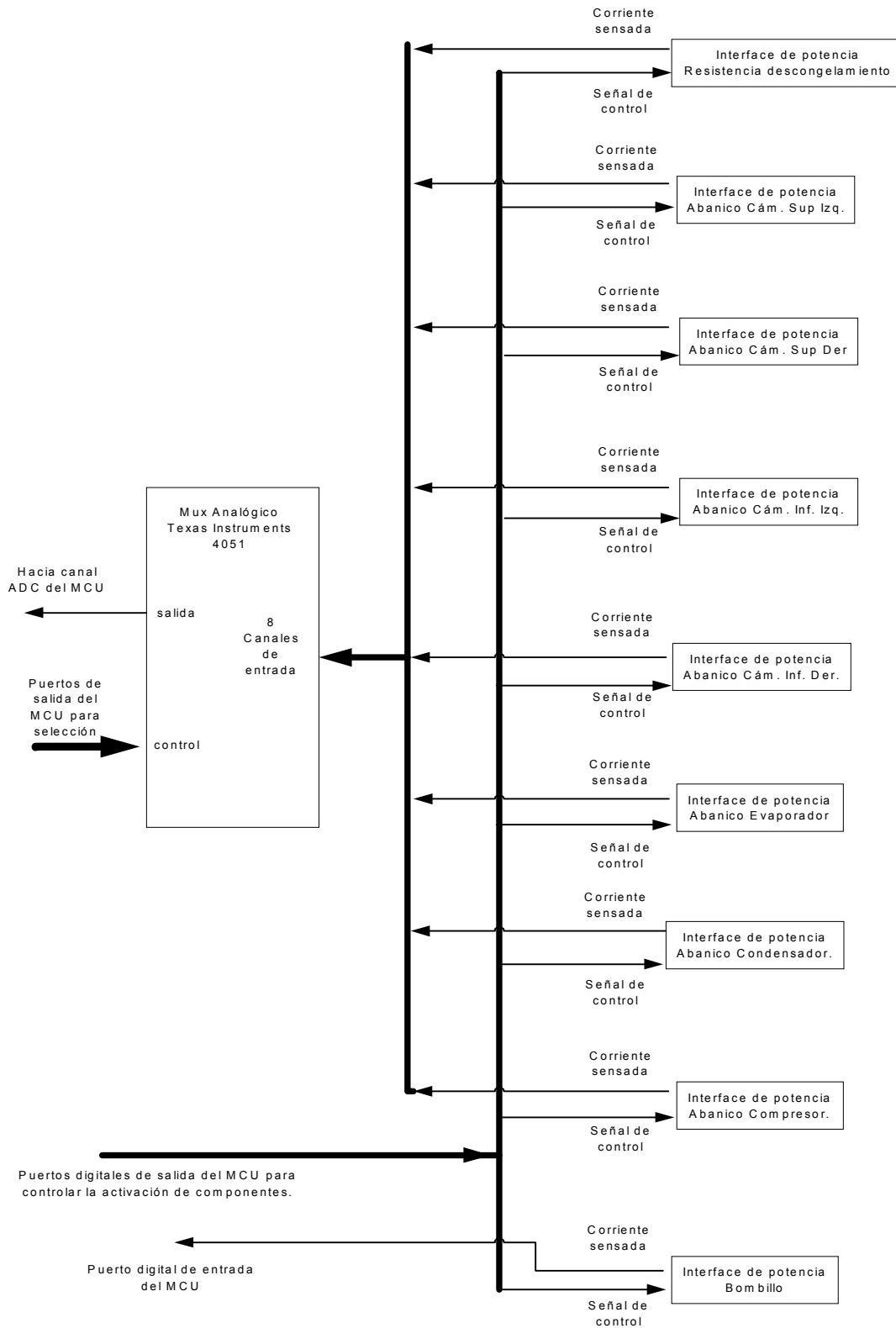


Figura 7.9. Diagrama de la implementación de la tarjeta de potencia y su conexión con el MCU (tarjeta de control).

En la figura 7.8 se observa que la corriente que se quiere medir (I_{prim}) se hace circular a través del primario del transformador de corriente. De esta manera el voltaje resultante en el secundario tiene una amplitud proporcional al valor instantáneo de la corriente I_{prim} . Como se mencionó anteriormente, la función del amplificador operacional es aumentar este voltaje para que pueda ser leído por el canal analógico del MCU.

Se puede observar en la figura 7.8, que "corriente sensada" es la señal que va al canal ADC del microcontrolador. Esta señal se utiliza para interpretar la corriente consumida por el componente respectivo (o carga). Como se verá más adelante en los Aspectos de Software, fue necesario realizar una rutina que pudiera determinar el valor pico de la corriente I_{prim} .

Por otra parte la "señal de control" proviene de un puerto de salida del microcontrolador y realiza la operación de encendido y apagado del triac y por lo tanto del componente respectivo.

A partir de las figuras 7.7 y 7.8 se puede observar que cuando la "señal de control" es un cero lógico, el led emisor de luz del driver conduce y por lo tanto activa al triac y el componente respectivo se enciende.

La conmutación de los dispositivos se pudo haber hecho mediante relevadores o relés, sin embargo a pesar de que los relés funcionan bastante bien en aplicaciones como ésta y son baratos, la empresa cliente manifestó su malestar por el desgaste que sufren estos componentes además del ruido que producen y el gran espacio que requieren en la tarjeta.

La conexión entre la tarjeta de control y la tarjeta de potencia se realizó mediante una faja o bus de 20 conductores.

7.2.3 Protección del equipo contra fallas por picos (descargas) en la línea de alimentación 110v.

Para proteger el sistema se colocaron varistores de 150V en paralelo con la línea de alimentación de 110V. Estos dispositivos son muy útiles ya que actúan como interruptores que en el momento en que se presenta alguna descarga ocasionada por ejemplo por un rayo, se conmutan y actúan como un corto hacia tierra evitando que la corriente circule a través de los componentes del sistema.

Debe indicarse sin embargo que estos dispositivos no garantizan la protección de la línea en un 100% debido a que tienen un pequeño retardo que hace que no conmuten instantáneamente al presentarse la descarga.

Sin embargo, debido a los costos se utilizó este sistema ya que resulta bastante económico y efectivo.

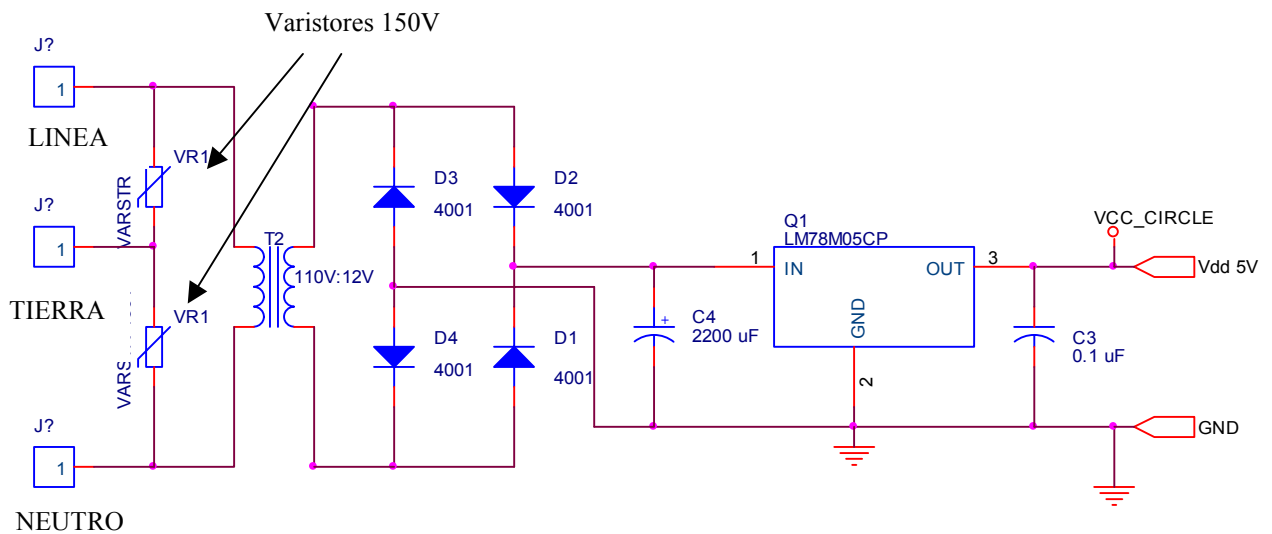


Figura 7.10 Esquemático que muestra la fuente de alimentación del equipo.

Como se observa en la figura 7.10, se utilizó un circuito de rectificación basado en un puente rectificador de onda completa con diodos y un regulador de 5 V para generar el voltaje de alimentación para el microcontrolador.

7.2.4 Tarjeta de interfaz con la PC para programación.

Los microcontroladores de la familia HC08 de Motorola presentan un modo especial de operación llamado Modo Monitor (o en inglés Monitor Mode). Este es un modo especial que permite realizar pruebas y un estudio completo del desempeño del MCU. El modo monitor provee una interfaz con una PC (Host) y toda la comunicación se realiza a través de un solo pin utilizando el protocolo estándar de comunicación NRZ (Non Return to Zero), de manera que se consigue una comunicación bidireccional Half Duplex . Lo anterior implica, que en modo monitor la comunicación con la PC no se realiza a través de la interface para comunicación serie SCI ni SPI, las cuales establecen comunicación bidireccional full dúplex asincrónica y síncrona respectivamente.

En este modo especial es posible cargar rutinas en RAM y realizar procesos de depuración (debugger) en tiempo real, lo cual facilita enormemente el desarrollo de aplicaciones complejas.

Además de todas estas funciones, la más importante para CAMtronics S.A es que permite acceder y cambiar completamente el código programa y también permite el cambio de variables almacenadas en memoria Flash. Un aspecto muy importante aquí es que Camtronics S.A requiere que, por ningún motivo, alguna persona tenga fácil acceso al programa para evitar sabotajes o el borrado por error del programa. Para solucionar esto, el modo monitor permite utilizar un método de protección para evitar accesos no autorizados. La protección consiste en 8 bytes de seguridad los cuales están almacenados en memoria flash (localidades \$FFF6-\$FFFD). El MCU en modo monitor espera por los ocho bytes de seguridad inmediatamente después de un PowerOn-Reset, si los ocho bytes introducidos coinciden con los almacenados en memoria flash el modo monitor permite el acceso total a toda la memoria flash para lectura y escritura y permite ejecutar código almacenado en ésta. Si los 8 bytes no coinciden, el MCU permanece en modo monitor, sin embargo cualquier lectura de memoria Flash devolverá datos inválidos.

Existen varias formas de establecer el modo monitor, en este caso se utilizó el método estándar que recomienda Motorola que consiste en aplicar un voltaje V_{tst} en el pin IRQ. Según las especificaciones eléctricas del microcontrolador $7.5V < V_{tst} < 9.0V$. De esta manera este “tercer estado” del pin IRQ permite que después de un Power On Reset el MCU pase a modo monitor y espere los 8 bytes de seguridad.

A continuación, en la figura 7.11, se muestra un circuito básico que muestra cómo se establece el modo monitor con el microcontrolador GP32.

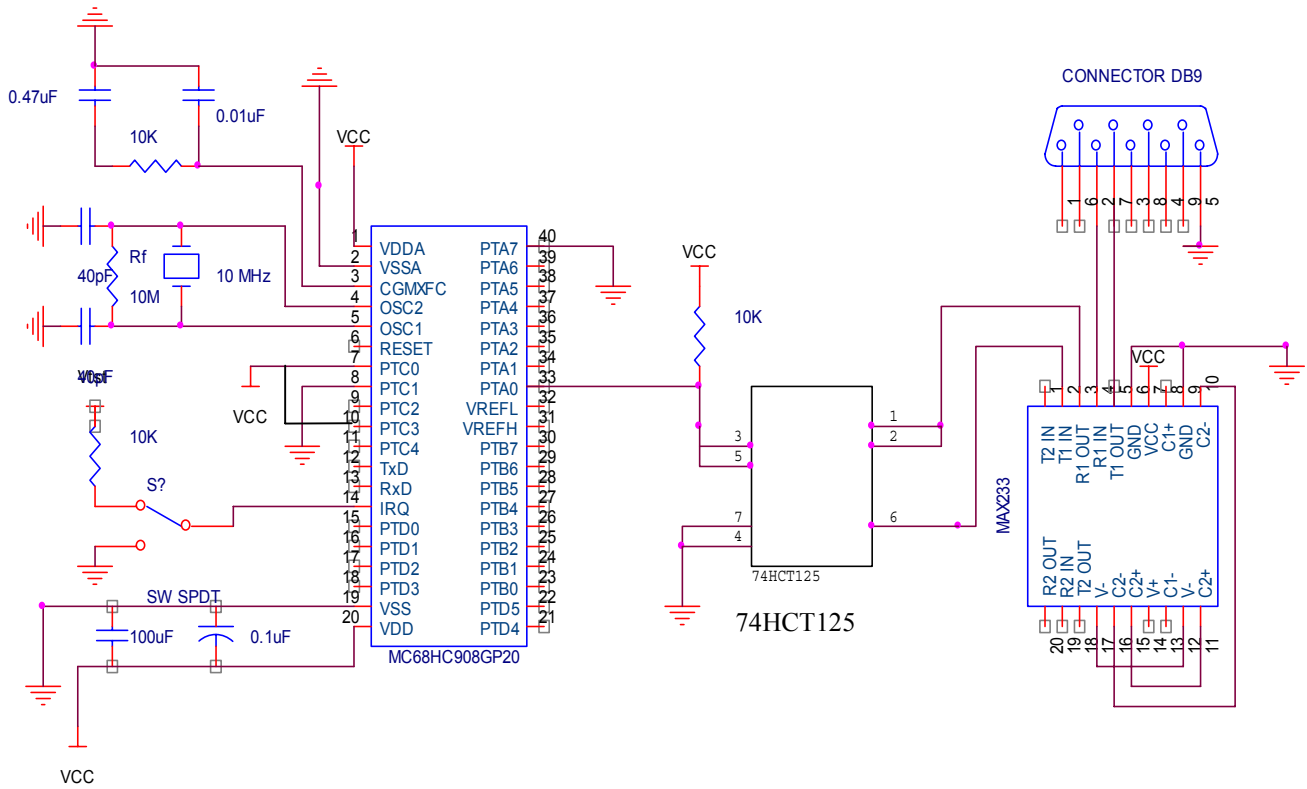
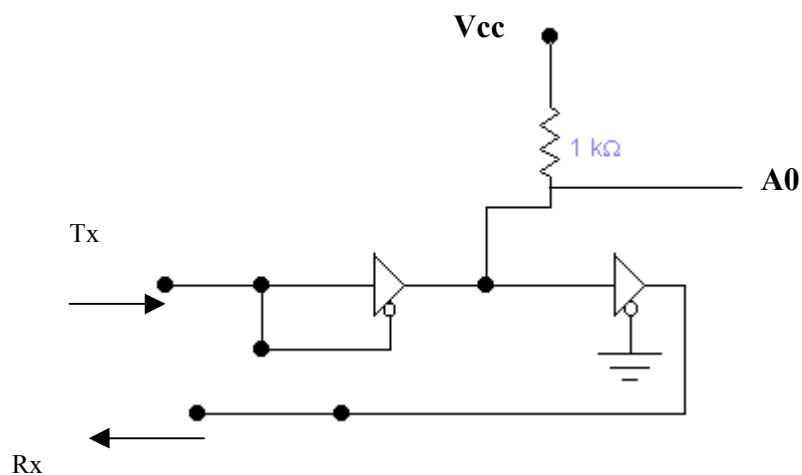


Figura 7.11 Conexión del MCU GP32 para establecer el modo monitor.

El integrado 74 HCT125 es un buffer de tercer estado de alta velocidad el cual tiene la principal característica de combinar la velocidad de la serie LS TTL con el bajo consumo del CMOS. Como se mencionó antes, en modo monitor toda la comunicación se realiza a través de un solo pin A0. Utilizando el 74HCT125 se logró interfazar el pin A0 para lograr la comunicación bidireccional. El circuito es bastante sencillo y se reduce al mostrado en la figura 7.12.



**Figura 7.12 Comunicación Bidireccional (Half Dúplex)
a través del pin A0.**

El modo monitor establece la transmisión de datos. Esta transmisión se debe realizar a 4800 baudios o 9600 baudios. En este caso, como se utilizó un cristal de 10MHz, se realizó el ajuste de la transmisión a 9600 baudios colocando el pin PTC3 en alto (según hojas de datos del microcontrolador).

7.3 Aspectos de software.

7.3.1 Software propio del microcontrolador GP32, para realizar todas la funciones relacionadas con el control y monitoreo del estado del enfriador.

Para explicar detalladamente las funciones del software de control se empezará por describir las especificaciones de éste.

7.3.1.1 Especificaciones del software de control

7.3.1.1.1 Control de la temperatura de operación asignada en ambas cámaras:

La cámara inferior tiene prioridad sobre la cámara superior, de manera que es más eficiente el proceso de transporte del aire frío producido por el evaporador. Siempre que esté activado algún abanico de cualquiera de las cámaras internas deberá estar encendido el abanico del evaporador. Esto permite asegurar la circulación del aire frío en el interior del enfriador.

7.3.1.1.2 Revisión del estado de la puerta.

La revisión del interruptor de puerta incluye :

Cuando se abre la puerta:

- Encender el bombillo.
- Apagar los abanicos de las 4 cámaras.
- Apagar el compresor, el abanico del evaporador y el abanico del condensador cuando la puerta lleva 1 minuto abierta.
- Dar alarma una vez por minuto después de que la puerta lleva más de 1 minuto abierta.

Cuando se cierra la puerta:

- Apagar el bombillo
- Apagar la alarma.
- Reiniciar el control de la temperatura interna.

Además por solicitud de la empresa cliente existe un período de estabilización en caso de que todo haya estado apagado cuando se abrió la puerta, de manera que cuando se cierre, los 4 abanicos se enciendan por un lapso de 1 minuto y luego continúe la operación normal.

7.3.1.1.3 Asignación de la temperatura de operación vía puerto serie:

Específicamente se asigna el rango de temperaturas (temperatura máxima y temperatura mínima) para controlar la temperatura del enfriador. Además es posible programar el tiempo de duración de descongelamiento en minutos, y el tiempo que debe transcurrir para iniciar un ciclo de descongelamiento en horas.

7.3.1.1.4 Alerta sobre mal funcionamiento en los abanicos, el evaporador y el compresor.

El sistema verifica el correcto funcionamiento de los componentes del enfriador y en caso de falla alertará al usuario. La fuente exacta de la falla puede ser identificada a través del puerto serie, ya sea mediante la evaluación de los parámetros que envía el programa de control (temperatura y corriente) o mediante el análisis de un registro de banderas incluido en la memoria del MCU para facilitar al usuario la identificación de fallas.

7.3.1.1.5 Control de los ciclos de descongelamiento (defrost) del enfriador.

La duración del ciclo de descongelamiento puede programarse vía puerto serial. Sin embargo la especificación de la empresa cliente establece que la duración del mismo será de 10 minutos.

El intervalo de tiempo que debe transcurrir para iniciar el ciclo descongelamiento es programable. Como precaución el descongelamiento se realizará también cuando la temperatura del evaporador descienda de -2°C . Por solicitud de la empresa cliente esta temperatura de protección también se puede variar a través del puerto serial.

Cuando finalice el período de descongelamiento se establece un tiempo de espera de 45 segundos en el cual únicamente el compresor y el abanico del evaporador encenderán.

7.3.1.1.6 Protección del compresor.

- El compresor debe apagarse cuando la puerta del enfriador se deje abierta durante mucho tiempo (5 minutos).
- Se debe dar un tiempo de espera cada vez que se apague el compresor, de manera que para encender el compresor debe asegurarse que éste lleve apagado al menos 3 minutos.

7.3.1.1.7 Consulta del estado actual de funcionamiento del enfriador.

Por medio del puerto serie, es posible consultar información sobre el estado actual del enfriador, esta información incluye:

- Rango de temperatura actual de operación.
- Corriente actual consumida por los componentes del enfriador.
- Temperatura actual en cada cámara.
- Temperatura de protección para realizar descongelamiento.
- Intervalo de tiempo para iniciar el ciclo de descongelamiento.
- Duración del ciclo de descongelamiento.
- Reporte de errores.

7.3.1.2 Implementación del Software de control.

Como se mencionó en el apartado anterior, el control de la temperatura es una de las especificaciones del software de control. La cámara inferior tiene prioridad sobre la cámara superior, de manera que sea más eficiente el proceso de transporte del aire frío producido por el evaporador.

En la figura 7.1 se puede observar que, la etapa de procesamiento digital (tarjeta de control) interpreta la temperatura registrada por los termistores y la corriente presente en los distintos componentes del congelador. En la sección 6.2.1 se demostró la forma en que la tarjeta de control permite convertir el cambio en la resistencia del termistor en un cambio del voltaje de entrada del canal ADC respectivo.

Los termistores NTC utilizados son de coeficiente negativo esto implica que un aumento en la temperatura produce una disminución en la resistencia del termistor. Debido a la configuración que se utilizó en el termistor (figura 7.2) una disminución en la resistencia del termistor hace que aumente el voltaje en el canal ADC respectivo. Por lo tanto a medida que aumenta la temperatura el voltaje en el canal ADC aumenta. Esto permite interpretar un aumento en el voltaje leído en el canal ADC como un aumento en la temperatura del termistor respectivo. Para obtener la relación exacta voltaje-temperatura de la configuración utilizada se obtuvo la curva que se mostró anteriormente en la figura 7.3.

De esta manera, con base en la información de la tabla 7.1, el microcontrolador debe ser capaz de administrar el manejo de los abanicos y el compresor de acuerdo con la temperatura de las cámaras. Las temperaturas de operación se asignan por medio de la conexión a una PC a través del puerto serial. De esta manera, a través de la PC se puede establecer el valor máximo y mínimo de temperatura en que se requiere que opere el congelador.

Para establecer la comunicación con la PC se utilizó la interface para comunicación serie (SCI) la cual establece comunicación bidireccional Full Duplex a través de los pines Rx y Tx. Esta interface permite manejar el puerto serial por interrupción o por encuesta ("polling") a través de un registro de estado y un registro de datos.

Por otra parte, la detección de fallas en algún componente del congelador se llevó a cabo monitoreando las corrientes que circulan por cada uno de ellos. Se estableció dentro de la memoria del microcontrolador un código de errores que permita reportar y establecer la ubicación de las fallas que se presenten. Esta información será tratada por la interfaz de la PC.

El monitoreo de los abanicos se realizó de dos maneras. En la primera se verifica únicamente que se presente una oscilación en la corriente del componente respectivo, esto permite asegurar al menos que el componente está bien conectado al control ya que, por ejemplo, si un componente sufre daños en los contactos de alimentación, no circulará corriente a través de él y el control lo reportará mediante con led rojo y emitirá la alarma del buzzer.

Pero además es necesario cuando así se solicita, leer el valor exacto de corriente pico que consume cada componente. Como se había mencionado antes esta es una solicitud que se realiza a través del puerto serial.

Los valores pico de corriente se obtienen a partir de la tabla 7.2 que describe la curva experimental corriente-voltaje. De esta manera es posible realizar el monitoreo de las corrientes de los componentes del enfriador.

La rutina implementada para obtener la corriente de consumo puede encontrar el valor pico de la señal que se presenta en el Canal ADC. El convertidor ADC del MCU puede realizar conversiones a una frecuencia máxima de 1MHz por lo tanto, el valor pico puede encontrarse sin mayor problema debido a que las corrientes que consumen los componente tienen baja frecuencia, 60Hz, lo que implica que un ciclo tarda unos 17ms .

Como el software de control debe realizar diferentes ciclos de operación (descongelamiento, puerta abierta, estabilización, tiempo de espera para el compresor), se utilizó el módulo de base de tiempo que tiene el microcontrolador (Time Base Module). Esto trajo grandes ventajas ya que a través de este módulo es posible generar una interrupción cada vez que concluya alguno de los ciclos de operación. En el microcontrolador GP32 un ciclo interno de bus requiere cuatro ciclos en el oscilador externo (generado por el PLL a través del cristal de cuarzo de 10 MHz). Con base en esta información y los registros de control del módulo de tiempo, con un cristal de 10 MHz es posible generar una interrupción por rebasamiento (overflow) de los contadores internos cada 50ms, de manera que 20 llamadas a interrupción representan 1 segundo.

El módulo de base de tiempo permitió además, asegurar una desviación pequeña en la temporización. Se observó la señal proveniente del temporizador y se determinó que la desviación era despreciable. (aproximadamente 15 centésimas de segundo cada minuto).

A continuación se muestra el diagrama de flujo, que describe el programa principal del control del enfriador.

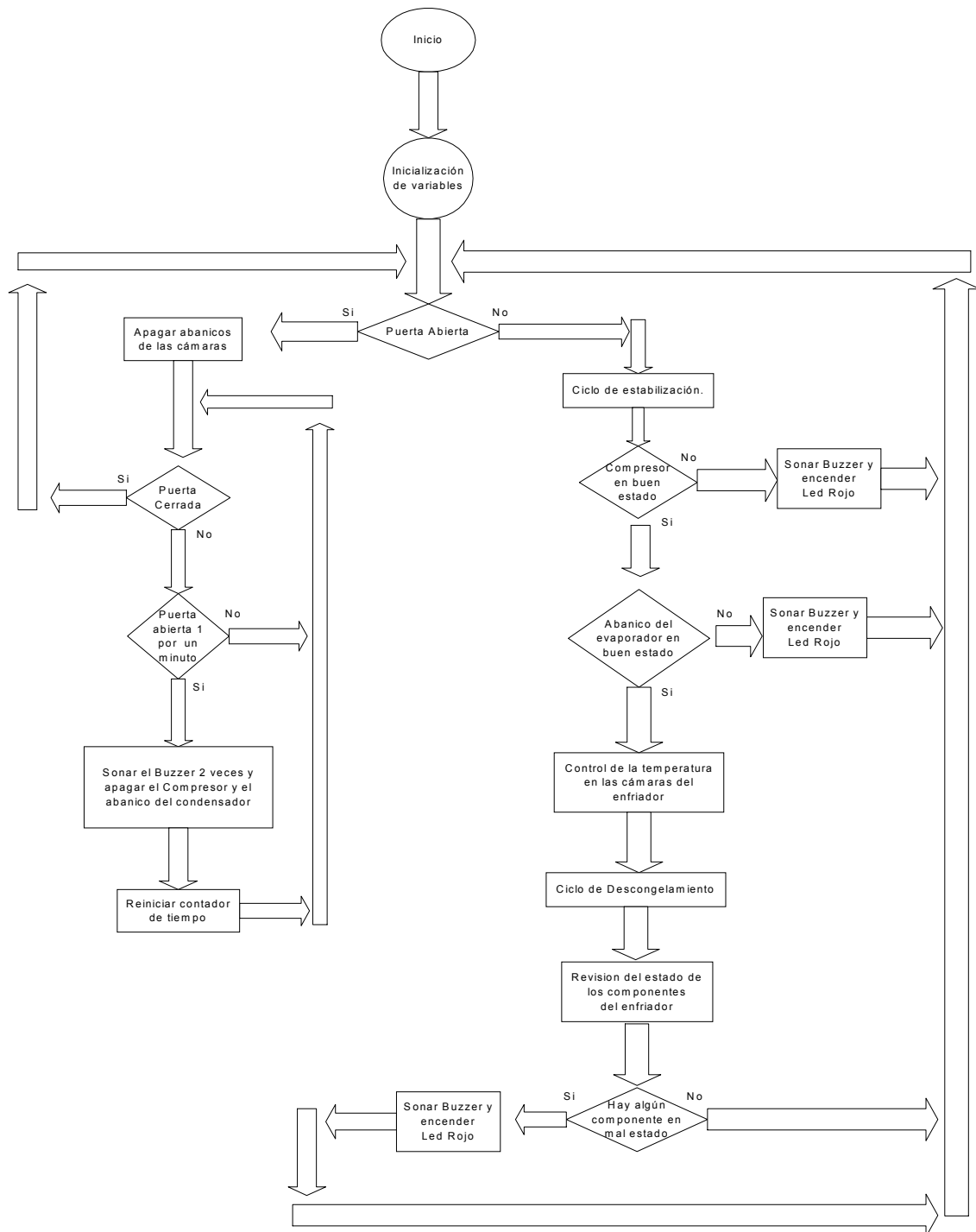


Figura 7.13 Diagrama de flujo que muestra la operación del programa principal de control del enfriador.

Como se muestra en la figura 7.13, el control de las temperaturas es una de las funciones del programa de control. La rutina que describe este diagrama se realiza de la misma manera en ambos lados del enfriador, el lado derecho y el lado izquierdo.

A continuación en la figura 7.14 se detalla el diagrama de flujo que ilustra la manera en que se realiza el sensado y control de la temperatura en el interior de las cuatro cámaras del enfriador.

De la misma manera, el diagrama de flujo del ciclo de descongelamiento se detalla en la figura 7.15.

Por último, como se mencionó anteriormente, existe un ciclo de estabilización que se establece cuando es necesario compensar la pérdida de aire frío que se produce al abrir alguna de las puertas repentinamente. En este caso, si el enfriador se encuentra en reposo (abanicos de las cámaras apagados) es necesario establecer el ciclo de estabilización tal y como se detalla en el diagrama de flujo de la figura 7.16. En el diagrama de flujo se establece que la duración de este ciclo es de 30 segundos, sin embargo existe la posibilidad de ajustar este tiempo vía puerto serial.

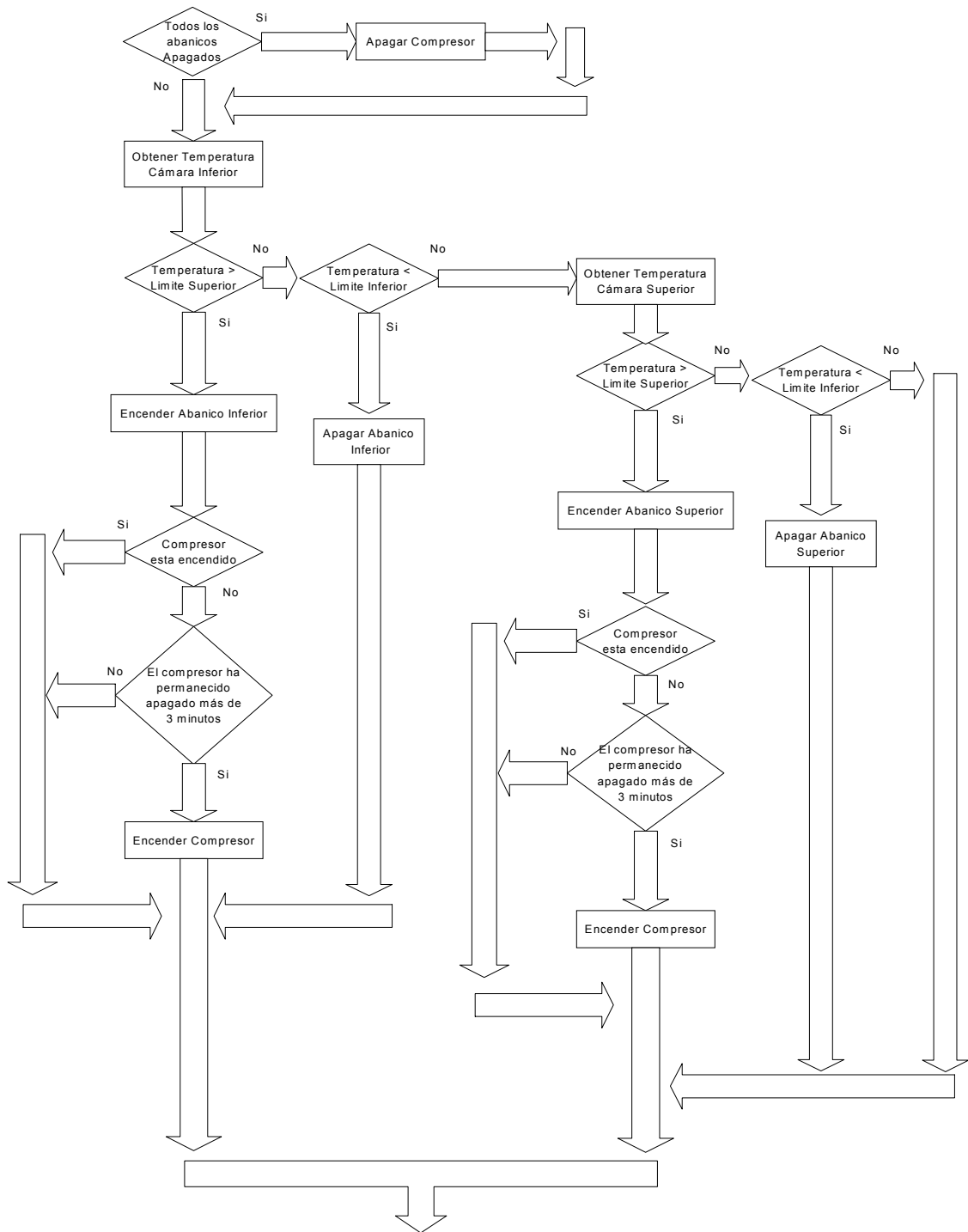


Figura 7.14 diagrama de flujo que ilustra la manera en que se realiza el sensado y control de la temperatura en el interior de las cuatro cámaras del enfriador.

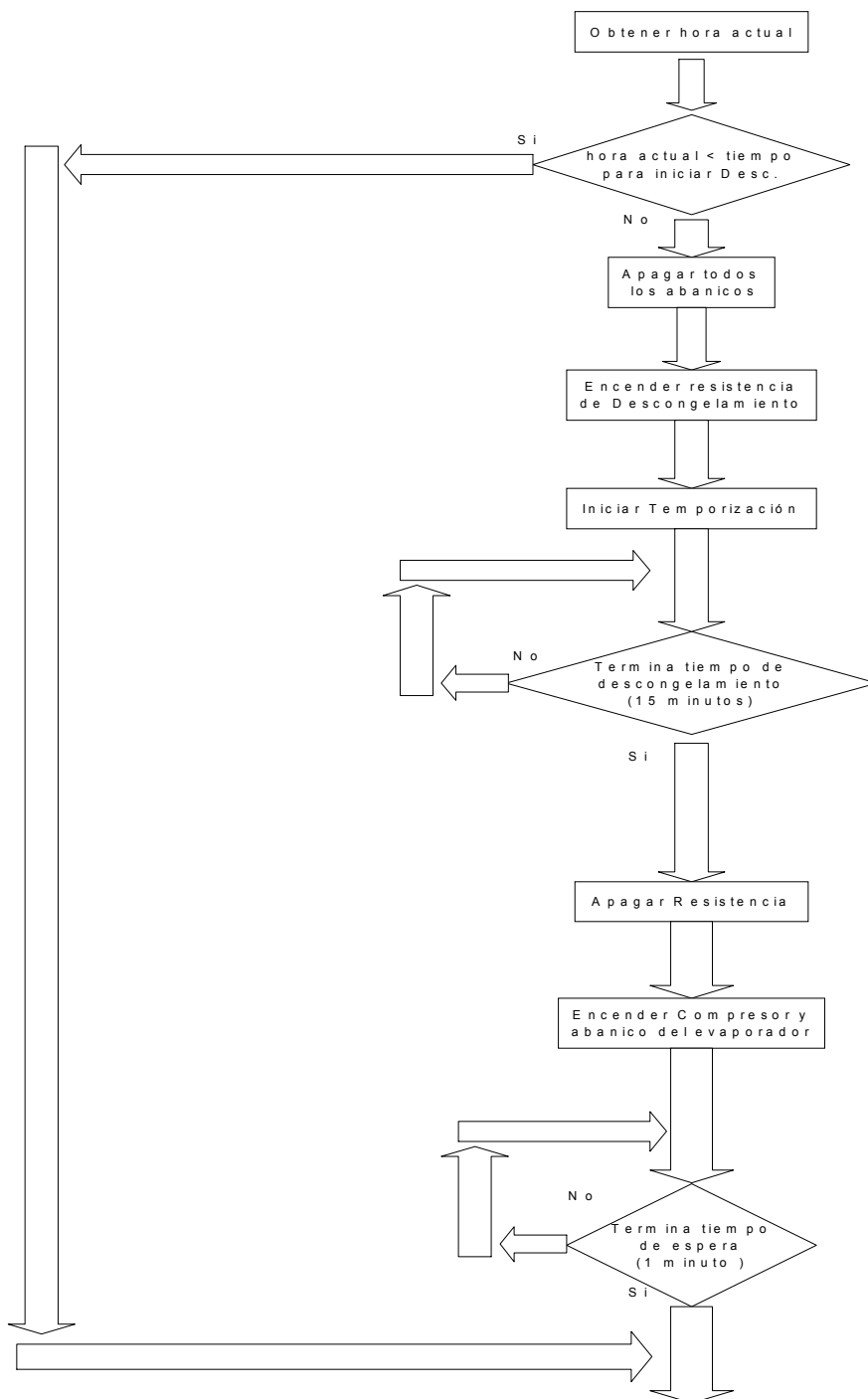


Figura 7.15 Diagrama de flujo correspondiente al ciclo de descongelamiento.

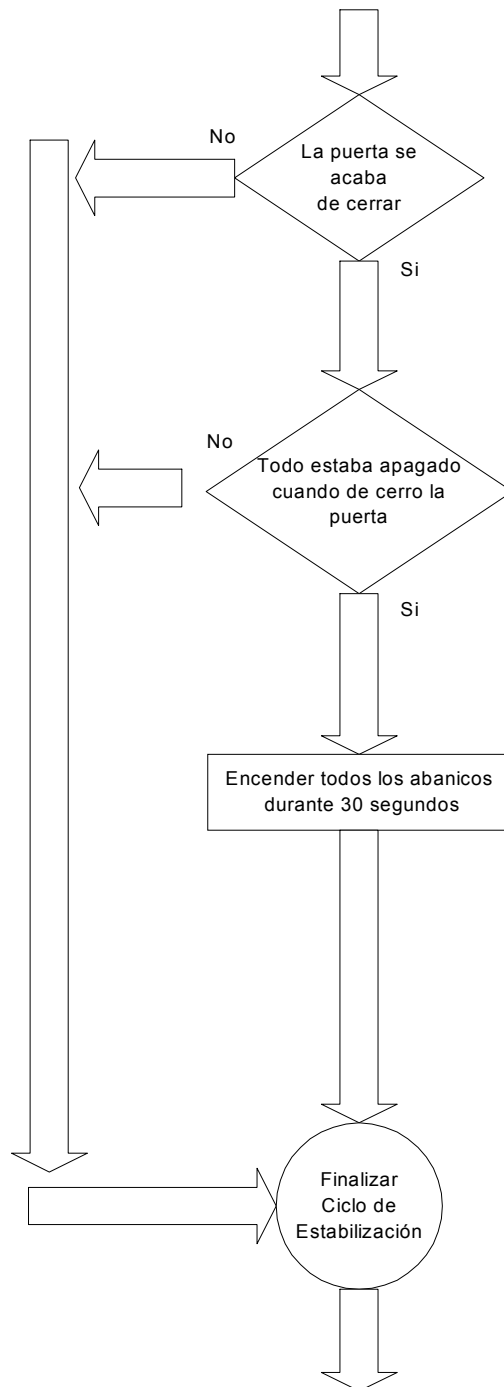


Figura 7.16 Diagrama de flujo correspondiente al ciclo de estabilización.

7.4 Interfaz de comunicación del dispositivo con la PC.

La comunicación del dispositivo desarrollado con la PC se realizó a través del puerto serial, utilizando un puerto de comunicaciones externo. La comunicación serial en el microcontrolador GP32 se produjo a través de la interface para comunicación serie (SCI) la cual establece comunicación bidireccional Full Duplex a través de los pines Rx y Tx. Fue necesario incluir además, el chip MAX233 (ver figura 7.4) para establecer la comunicación serial en formato RS232.

Como se mencionó antes, el microcontrolador crea un código de errores que permite reportar y establecer la ubicación de las fallas que se presenten. La interfaz con la PC permite decodificar este código de error para facilitar la ubicación de la falla. Además, es posible la lectura de las temperaturas en cada cámara y en el evaporador en grados Celsius.

Por último, en caso de que se solicite, se puede hacer un reporte de la corriente que consume cada uno de los componentes. Toda la información queda almacenada en disco, y puede tabularse y graficarse en la aplicación Microsoft Excel.

8. Objetivos.

8.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema electrónico capaz de realizar el control, protección y reporte de fallas, en un enfriador comercial.

8.2 Objetivos Específicos.

8.2.1 Diseñar el hardware necesario para desarrollar el módulo de control y procesamiento digital.

8.2.2 Diseñar el hardware necesario para desarrollar el módulo de potencia.

8.2.3 Diseñar el diagrama del circuito impreso preliminar para ambos módulos y gestionar su fabricación.

8.2.4 Desarrollar el software necesario para la funciones del módulo de control (microcontrolador).

8.2.5 Desarrollar el software para la comunicación del módulo de control con la PC, vía puerto serie.

9. Metodología

A continuación se describe de manera detallada las actividades que se desarrollaron para cumplir con el objetivo general del proyecto. En la figura 5.1 se muestra un diagrama de bloques que ilustra la solución propuesta.

9.1 Diseñar el hardware necesario para desarrollar el módulo de control y procesamiento digital.

Se realizó un estudio de los datos técnicos del microcontrolador MC68HC908GP32 de la familia Motorola para conocer sus principales características, requerimientos, definición de los pines y las posibles funciones que estos pueden tener. Los datos técnicos se encontraron en formato PDF, en CDs de la empresa CAMtronics S.A.

Como fuente de alimentación del sistema, se colocó un transformador de voltaje, un circuito rectificador y un regulador de 5V para permitir la correcta operación del microcontrolador que deberá alimentarse de la toma de 110V. Se utilizó un fusible para evitar daños por fallas en la alimentación. Fue importante considerar además, las especificaciones eléctricas del microcontrolador, para garantizar su correcto funcionamiento.

Posteriormente, se analizaron los diferentes sensores de corriente y temperatura que existen en el mercado. Para el sensado de corriente fue necesario conocer las características eléctricas de los componentes del congelador (ventiladores, compresor, etc.) para determinar el tipo de sensor que se necesita.

Por solicitud de Camtronics S.A, el sensado de la temperatura se realizó utilizando termistores NTC que estaban en la bodega de componentes de esta empresa.

Para implementar el diagrama de bloques del circuito a utilizar se analizaron los datos técnicos de los sensores utilizados. Para monitorear las temperaturas y la corriente que circula por cada componente del congelador se utilizaron los canales ADC del microcontrolador.

Es importante indicar que los componentes que se utilizaron debían encontrarse fácilmente en el mercado y en catálogos de vendedores de componentes, ya que CAMtronics S.A necesita comercializar el producto final. Además el costo total del diseño no podía sobrepasar el máximo fijado por la empresa cliente, de lo contrario habría sido necesario buscar nuevos componentes para abaratar los costos.

El tiempo que tardó esta actividad fue una semana y media

9.2 Diseño del hardware necesario para desarrollar el módulo de potencia

En la figura 5.1 se muestra de manera esquemática la forma en que se implementó el módulo de potencia. Aquí se hizo necesario investigar sobre varios sensores de corriente que pudieran ser utilizados para monitorear el estado de los componentes del congelador.

También fue necesario determinar cuáles serían los drivers a utilizar, para controlar el encendido y apagado de cada uno de los componentes del congelador. Como se mencionó anteriormente, la empresa cliente requería que la etapa de potencia se desarrollara en una tarjeta aparte que se comunicara con la etapa de control por medio de un bus.

El tiempo aproximado de ejecución de esta actividad fue de una semana.

9.3 Diseñar el diagrama del circuito impreso preliminar para ambos módulos y gestionar su fabricación.

Una vez diseñado a nivel de diagrama de bloques, el circuito a utilizar en el módulo de control y en el módulo de potencia, se procedió a realizar el diseño del circuito impreso.

De esta manera, con el diagrama de circuito impreso completo (diagrama de pistas, tamaño de huecos, tamaño de la tarjeta, identificación de componentes, conectores, etc) se procedió a gestionar la fabricación del circuito impreso.

La fabricación del circuito impreso fue aprobada cuando el diagrama cumplió con una serie de normas que se imponen en el taller técnico de CAMtronics S.A.

Esta actividad se llevó a cabo aproximadamente en dos semanas.

9.4 Desarrollar el software necesario para la funciones del módulo de control (microcontrolador).

Para desarrollar el software del microcontrolador se estudiaron primero los datos técnicos del microcontrolador. De esta manera se determinó por ejemplo, operandos permitidos, modos de direccionamiento, cantidad de memoria RAM interna, espacio de memoria de programa y datos (ROM), modos de operación del microcontrolador, etc. Fue necesario también estudiar el software que se utilizó para el desarrollo del programa de control; el compilador, el programador, depurador, es decir el kit de desarrollo en general del microcontrolador. Todo esto permitió considerar las posibilidades y limitantes que este presentan, para el desarrollo del software del sistema.

Una vez que conocido a fondo el funcionamiento del microcontrolador se implementó la programación a nivel de diagrama de bloques que permitiera cumplir con las especificaciones del sistema propuesto. Las rutinas que se implementaron cumplen con todas las funciones relacionadas con el control y monitoreo del sistema.

Para realizar el monitoreo del sistema se hizo necesario conocer a fondo el funcionamiento de los sensores que se utilizaron. De esta manera tanto para el sensor de temperatura como para el sensor de corriente se debió trazar las curvas características que permitieran relacionar el parámetro que se mide con el voltaje que se presenta en la salida y que va hacia los convertidores ADC.

Posteriormente, se procedió a implementar cada una de las rutinas necesarias para realizar el control y monitoreo del sistema, tomando en cuenta las curvas de los sensores utilizados y el set de instrucciones que provee el microcontrolador. Se debió considerar también las especificaciones eléctricas del microcontrolador.

Esta actividad se llevó a cabo en un total de tres semanas aproximadamente.

9.5 Realizar pruebas de funcionamiento sobre el módulo de control y procesamiento digital y determinar las correcciones necesarias.

Estas pruebas permitieron verificar individualmente el adecuado funcionamiento del módulo de control. Entre otras cosas se debió verificar aquí, el funcionamiento de los termistores y las señales de control dirigidas a la etapa de potencia.

También fue necesario verificar la correcta temporización del sistema, para asegurar una desviación pequeña por razones de precisión en los temporizadores. Se observó la señal proveniente del temporizador y se determinó que la desviación era despreciable. (aproximadamente 15 centésimas de segundo cada minuto).

También fue importante revisar el buen funcionamiento de la rutina encargada de encontrar el voltaje pico presente en alguno de los canales ADC.

El tiempo necesario para ejecutar esta actividad fue de dos semanas.

9.6 REALIZAR PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SOBRE EL MÓDULO DE POTENCIA Y DETERMINAR LAS CORRECCIONES NECESARIAS.

Al igual que la etapa de control, el módulo de potencia necesitó ser probado por separado. Se verificaron las señales de voltaje provenientes de los sensores de corriente. Además se verificó el funcionamiento de los drivers (triacs) correspondientes a cada componente. Cuando se presentó alguna falla en la tarjeta se procedió a buscar la fuente de la misma y corregirla. Las correcciones de hardware se realizaron utilizando la misma tarjeta. Los cambios que se realizaron fueron considerados para la construcción del prototipo final.

El tiempo estimado para ejecutar esta actividad fue de dos semanas.

9.7 Desarrollar el software para la comunicación del módulo de control con la PC, vía puerto serie.

Cómo se mencionó en la descripción de la solución, se desarrolló una interfaz en la PC la cual se comunica vía puerto serial con el módulo de control. El software se desarrolló con el lenguaje de programación Borland Delphi. Se procedió primero a describir el programa a través de un diagrama de bloques. Una vez claras las funciones de la interfaz de la PC, se procedió a implementar el programa. El programa muestra la información tabulada en la pantalla y permite crear archivos de texto con la información obtenida.

El tiempo estimado que transcurrió para realizar esta actividad fue de dos semanas.

9.8. Verificar el adecuado funcionamiento del dispositivo en conjunto: módulo de control, etapa de potencia y software de comunicación con la PC.

Una vez que fueron probadas cada una de las etapas por separado, se procedió a realizar las pruebas en conjunto del sistema. Fue necesario verificar aquí, que el sistema cumpliera con todos los requisitos planteados por la empresa cliente y planteados en la sección de descripción del problema.

De esta manera, estas pruebas se enfocaron a la verificación del funcionamiento adecuado de la comunicación entre el módulo de control y el módulo de potencia. Se debió revisar el correcto funcionamiento del control del congelador. Fue necesario verificar que el enfriador alcanzara la temperatura de operación a la cual había sido programado. Se comprobó también el funcionamiento de los ciclos especiales de operación incluyendo el descongelamiento, el tiempo de espera después del descongelamiento, el ciclo de estabilización. Para comprobar el monitoreo de errores, se simuló una serie de fallas en los equipos.

Por último fue necesario examinar el funcionamiento de la interfaz de la PC comprobando la asignación de nuevos rangos de temperatura. También se verificó la lectura de corrientes y temperaturas y la ubicación de fallas.

En general, el propósito de las pruebas fue encontrar posibles fallas en los módulos implementados. De esta manera se realizaron las correcciones necesarias para llevar a los módulos a un funcionamiento adecuado.

Esta actividad se realizó en un período de 2 semanas.

9.9. Obtener diagrama de circuito impreso final del sistema y gestionar su fabricación.

Cuando se hubo comprobado el correcto funcionamiento del sistema en su totalidad, se procedió a realizar el diseño del circuito impreso final el cual incluyó todas las mejoras que fueron anotadas durante las pruebas realizadas. Finalmente se procedió a gestionar la fabricación del circuito impreso (PCB).

Esta actividad se realizó en un período aproximado de 2 semanas.

10. Aporte del estudiante al proyecto.

El diseño y desarrollo de los módulos descritos fueron realizados en su totalidad por el estudiante. Sin embargo como se mencionó anteriormente existieron muchas propuestas de la empresa CAMtronics S.A en relación con los componentes a utilizar.

Concretamente CAMtronics solicitó el uso de los termistores NTC que estaban en la bodega de la empresa. De la misma manera los sensores de corriente se escogieron como una sugerencia del Ing. Eliécer Fernández Bermúdez.

Concretamente el estudiante realizó todo lo relacionado con el diseño de las tarjetas de circuito impreso, programación del microcontrolador y programación de la interfaz con la PC.

El diseño de la tarjeta del circuito impreso fue también tarea del estudiante sin embargo la fabricación de la tarjeta estuvo a cargo del personal técnico de CAMtronics S.A.

El trabajo novedoso corresponde al desarrollo de una solución para la problemática que enfrenta la empresa cliente. No existe en la actualidad ningún equipo comercial que cumpla con todas las especificaciones del sistema desarrollado en este proyecto.

11. Transferencia de Tecnología

Para la transferencia de tecnología CAMtronics S.A solicitó que se realice la documentación respectiva, de manera que la empresa pueda contar con una descripción detallada del sistema y sus funciones, para realizar posteriores modificaciones y brindar mantenimiento preventivo al equipo. Esto incluye diagramas esquemáticos, diagramas del circuito impreso (PCB), manual de operación y conexiones, listados de programa y diagramas de flujo de funcionamiento el software. Fue necesario indicar además, los parámetros máximos eléctricos para la operación correcta el sistema.

El resultado final fue expuesto primero a CAMtronics S.A y luego al personal representante de la empresa cliente para explicar su funcionamiento.

Fue necesario además brindar una capacitación sobre el uso del equipo y un manual de usuario.

12. Cronograma de actividades.

Tabla 12.1 Actividades a realizar.

A	Diseñar el hardware necesario para desarrollar el módulo de control y procesamiento digital. A1. Diseño de la Tarjeta de Control A2. Diseño de la Tarjeta interface para programación
B	Diseñar el hardware necesario para desarrollar el módulo de potencia.
C	Diseñar el diagrama del circuito impreso preliminar para ambos módulos y gestionar su fabricación. C1. Circuito Impreso de la Tarjeta de Control. C2. Circuito Impreso de la Tarjeta Interface C3. Circuito Impreso de la Tarjeta de Potencia
D	Desarrollar el software necesario para la funciones del módulo de control y procesamiento digital.
E	Probar el funcionamiento del módulo de control y procesamiento digital y determinar correcciones necesarias. E1. Pruebas de la Tarjeta Interface E2. Pruebas de la Tarjeta de Control.
F	Realizar pruebas de funcionamiento sobre el módulo de potencia y determinar las correcciones necesarias.
G	Desarrollar el software para la comunicación del módulo de control con la PC.
H	Verificar el adecuado funcionamiento del dispositivo en conjunto
I	Diseñar diagrama de circuito impreso final del sistema y gestionar su fabricación

En la figura siguiente (figura 12.1) se muestra el diagrama de Gantt del proyecto.

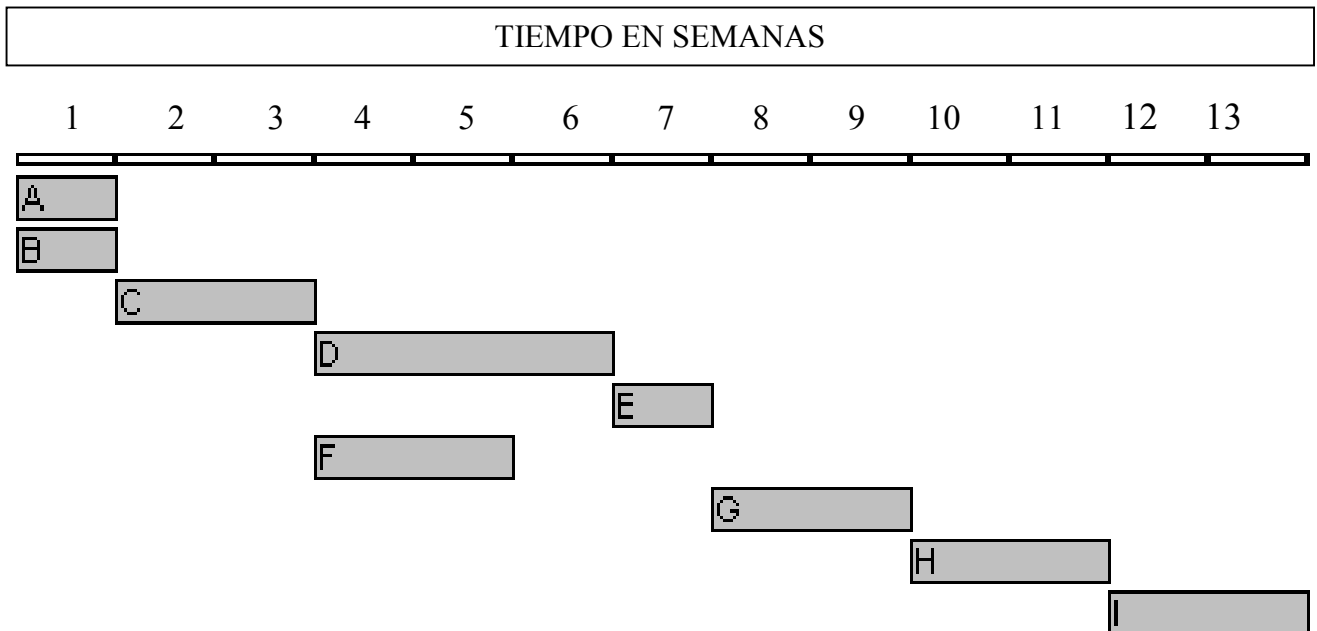


Figura 12.1 Diagrama de GANTT

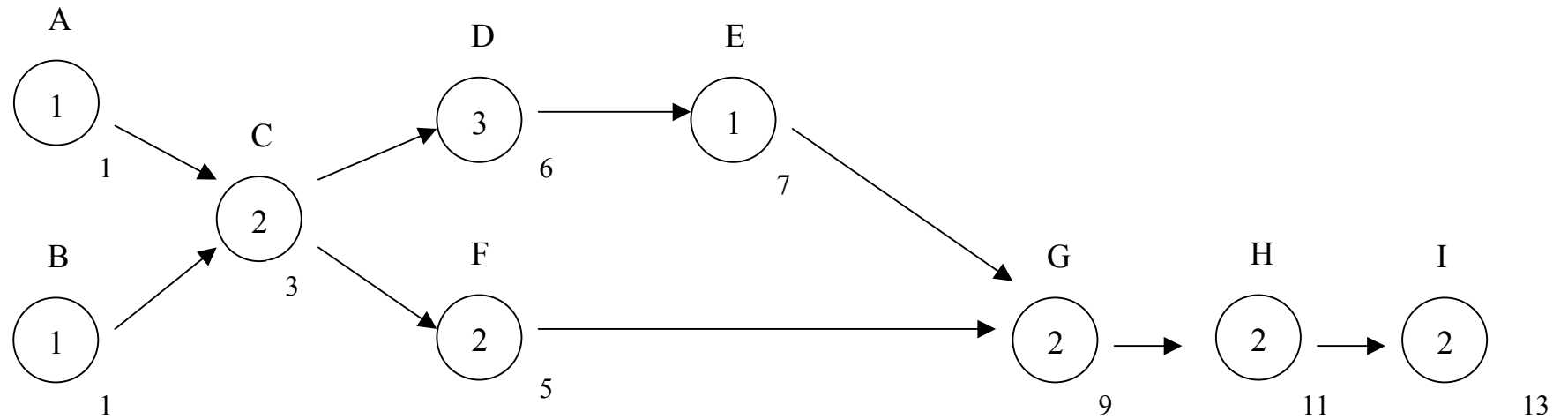


Figura 12.2 Diagrama de Pert. La duración de cada actividad se muestra dentro del círculo correspondiente. El inicio tardío de cada actividad se muestra a la derecha de cada actividad. A partir del análisis de la ruta crítica se establece que la ruta A-C-D-E-G-H-I es la ruta crítica.

13. Bibliografía.

World Wide Web.

1. Basic Refrigeration Principles. Página www. [http://www.novakool.com/technic/basic.htm]. 20 de abril 2001.
2. FairChild Semiconductor. MOC 3021 Trac Driver Data Sheets. Documento PDF [http://www.fairchildsemi.com/products/opto/datasheets/oi/MOC3020M.pdf] 2 de junio 2001.
3. Instituto de Formación Europeo. Resistores NTC. Página www. [http://www.ifent.org/lecciones/ntc/ntc.htm] 20 de abril 2001.
4. Motorola Semiconductor. Product Summary. Página www. [http://e-www.motorola.com/webapp/sps/prod_cat/prod_summary.jsp?code=68HC08GP32&catId=M98634#documentation] 15 de marzo, 2001.
5. SESCO Data Systems. NTE5600 through NTE5607 Triac. Página www. [<http://sescodatatypes.com/specs/5600to5699/NTE5600.html>]
6. SGS Thompson Microelectronics. 74HCT125/126 Data Sheets. Documento PDF. [www.chipbook.co.kr/pdf/st/2102.pdf]
7. The Appliance Guy. Basic Refrigeration. Página www. [http://www.theapplianceguy.com/]. 2 de junio 2001.
8. Texas Instruments. 4051 Analog Multiplexer Data Sheets. Documento PDF [f5exo.free.fr/meteo/ftp/4051.pdf] 3 mayo 2001.

Textos.

1. Coughlin Robert F. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. 1ª Edición . Prentice Hall, México 1993. Algunas Aplicaciones de los amplificadores operacionales, capítulo 5.
2. Malvino Albert P. Principios de electrónica. 5ª Edición. McGraw Hill, México 1994. Tiristores, capítulo 15.

14. Apéndices

14.1 Hoja de información actualizada del proyecto de graduación.

Información del estudiante:

Nombre: Álvaro Arturo Alvarado Obando

Cédula: 1-974 547 **Carné ITCR:** 9512135

Dirección de su residencia en época lectiva: 300 m sur y 25m este del Cementerio de Tres Ríos.

Dirección de su residencia en época no lectiva: Misma anterior

Teléfono en época lectiva: 279 54 62

Teléfono en época no lectiva: 279 54 62

Email: viverosfao@racsa.co.cr

Información del proyecto:

Nombre del proyecto: “Sistema electrónico para control, protección y reporte de fallas en un equipo de refrigeración comercial.”

Area del proyecto: Sistemas digitales

Profesor Asesor: Ing. Carlos Badilla.

Horario de trabajo del estudiante:

Lunes: 1:00 pm – 6:00 pm

Martes: 8:00 am – 12:00 pm

Miércoles: 1:00 pm – 6:00 pm

Jueves: 8:00 am – 12:00 pm

Viernes: 1:00 pm - 6:00 pm

Horario de clases en el ITCR

Martes: 1:00pm - 3:00 pm

Viernes: 7:30 am - 9:30 am

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: Enrique Ortiz Carazo.

Puesto que ocupa: Gerente General.

Departamento: Gerencia.

Profesión: Ingeniero en Electrónica

Grado Académico: Bachiller Universitario

Teléfono: -----

Email: camtroni@racsa.co.cr

14.2 Hojas de datos técnicos de componentes.

14.2.1 Microcontrolador MC68HC908GP32.

Fuente:

http://e-www.motorola.com/webapp/sps/prod_cat/prod_summary.jsp?code=68HC08GP32&catId=M98634#documentation

MC68HC908GP32/H
REV. 4



MC68HC908GP32

HCMOS Microcontroller Unit

TECHNICAL DATA

General Description

1.2 Introduction

The MC68HC908GP32 is a member of the low-cost, high-performance M68HC08 Family of 8-bit microcontroller units (MCUs). 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.

1.3 Features

For convenience, features have been organized to reflect:

- Standard features of the MC68HC908GP32
- Features of the CPU08

1.3.1 Standard Features of the MC68HC908GP32

- High-performance M68HC08 architecture optimized for C-compilers
- Fully upward-compatible object code with M6805, M146805, and M68HC05 Families
- 8-MHz internal bus frequency
- FLASH program memory security¹
- On-chip programming firmware for use with host personal computer which does not require high voltage for entry
- In-system programming
- System protection features:
 - Optional computer operating properly (COP) reset
 - Low-voltage detection with optional reset and selectable trip points for 3.0-V and 5.0-V operation
 - Illegal opcode detection with reset
 - Illegal address detection with reset

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

- Low-power design; fully static with stop and wait modes
- Standard low-power modes of operation:
 - Wait mode
 - Stop mode
- Master reset pin and power-on reset (POR)
- 32 Kbytes of on-chip FLASH memory with in-circuit programming capabilities of FLASH program memory
- 512 bytes of on-chip random-access memory (RAM)
- Serial peripheral interface module (SPI)
- Serial communications interface module (SCI)
- Two 16-bit, 2-channel timer interface modules (TIM1 and TIM2) with selectable input capture, output compare, and PWM capability on each channel
- 8-channel, 8-bit successive approximation analog-to-digital converter (ADC)
- BREAK module (BRK) to allow single breakpoint setting during in-circuit debugging
- Internal pullups on \overline{TRQ} and \overline{RST} to reduce customer system cost
- Clock generator module with on-chip 32-kHz crystal compatible PLL (phase-lock loop)
- Up to 33 general-purpose input/output (I/O) pins, including:
 - 26 shared-function I/O pins
 - Five or seven dedicated I/O pins, depending on package choice
- Selectable pullups on inputs only on ports A, C, and D. Selection is on an individual port bit basis. During output mode, pullups are disengaged.
- High current 10-mA sink/10-mA source capability on all port pins
- Higher current 15-mA sink/source capability on PTC0–PTC4
- Timebase module with clock prescaler circuitry for eight user selectable periodic real-time interrupts with optional active clock source during stop mode for periodic wakeup from stop using an external 32-kHz crystal

General Description

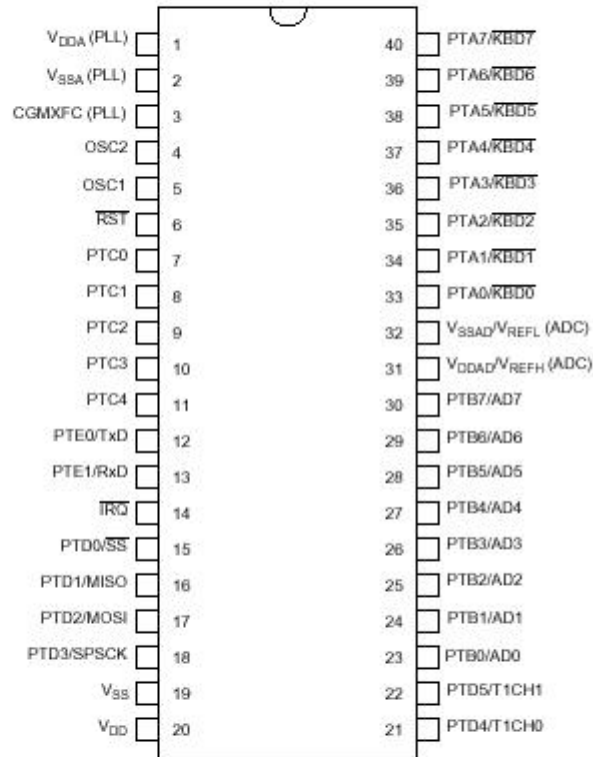
- Oscillator stop mode enable bit (OSCSTOPENB) in the CONFIG register to allow user selection of having the oscillator enabled or disabled during stop mode
- 8-bit keyboard wakeup port
- 5-mA maximum current injection on all port pins to maintain input protection
- 40-pin plastic dual-in-line package (PDIP), 42-pin shrink dual-in-line package (SDIP), or 44-pin quad flat pack (QFP)
- Specific features of the MC68HC908GP32 in 40-pin PDIP are:
 - Port C is only 5 bits: PTC0–PTC4
 - Port D is only 6 bits: PTD0–PTD5; single 2-channel TIM module
- Specific features of the MC68HC908GP32 in 42-pin SDIP are:
 - Port C is only 5 bits: PTC0–PTC4
 - Port D is 8 bits: PTD0–PTD7; dual 2-channel TIM modules
- Specific features of the MC68HC908GP32 in 44-pin QFP are:
 - Port C is 7 bits: PTC0–PTC6
 - Port D is 8 bits: PTD0–PTD7; dual 2-channel TIM modules

1.3.2 Features of the CPU08

Features of the CPU08 include:

- 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

1.5 Pin Assignments



Pins not available on 40-pin package	Internal connection
PTC5	Connected to ground
PTC6	Connected to ground
PTD6/T2CH0	Unconnected
PTD7/T2CH1	Unconnected

Figure 1-2. 40-Pin PDIP Pin Assignments

Analog-to-Digital Converter (ADC)

5.2 Introduction

This section describes the 8-bit analog-to-digital converter (ADC).

5.3 Features

Features of the ADC module include:

- Eight channels with multiplexed input
- Linear successive approximation with monotonicity
- 8-bit resolution
- Single or continuous conversion
- Conversion complete flag or conversion complete interrupt
- Selectable ADC clock

5.4 Functional Description

The ADC provides eight pins for sampling external sources at pins PTB7/AD7–PTB0/AD0. An analog multiplexer allows the single ADC converter to select one of eight ADC channels as ADC voltage in (V_{ADIN}). V_{ADIN} is converted by the successive approximation register-based analog-to-digital converter. When the conversion is completed, ADC places the result in the ADC data register and sets a flag or generates an interrupt. (See [Figure 5-1](#).)

Analog-to-Digital Converter (ADC)
Functional Description

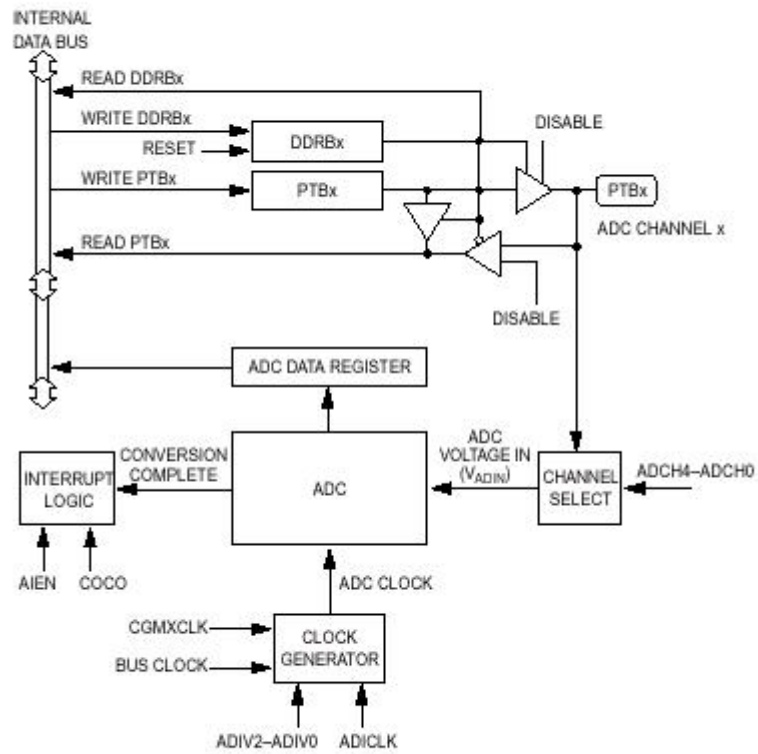


Figure 5-1. ADC Block Diagram

Analog-to-Digital Converter (ADC)

5.4.2 Voltage Conversion

When the input voltage to the ADC equals V_{REFH} , the ADC converts the signal to \$FF (full scale). If the input voltage equals V_{REFL} , the ADC converts it to \$00. Input voltages between V_{REFH} and V_{REFL} are a straight-line linear conversion.

NOTE: Inside the ADC module, the reference voltages V_{REFH} is connected to the ADC analog power, V_{DDAD} ; and V_{REFL} is connected to the ADC analog ground, V_{SSAD} . Therefore, the ADC input voltage should not exceed these analog supply voltages.

Connect the V_{DDAD} pin to the same voltage potential as the V_{DD} pin, and connect the V_{SSAD} pin to the same voltage potential as the V_{SS} pin.

The V_{DDAD} pin should be routed carefully for maximum noise immunity.

5.4.3 Conversion Time

Conversion starts after a write to the ADSCR. One conversion will take between 16 and 17 ADC clock cycles. The ADIVx and ADICLK bits should be set to provide a 1-MHz ADC clock frequency.

$$\text{Conversion time} = \frac{16 \text{ to } 17 \text{ ADC cycles}}{\text{ADC frequency}}$$

$$\text{Number of bus cycles} = \text{conversion time} \times \text{bus frequency}$$

5.4.4 Conversion

In continuous conversion mode, the ADC data register will be filled with new data after each conversion. Data from the previous conversion will be overwritten whether that data has been read or not. Conversions will continue until the ADCO bit is cleared. The COCO bit is set after the first conversion and will stay set until the next write of the ADC status and control register or the next read of the ADC data register.

In single conversion mode, conversion begins with a write to the ADSCR. Only one conversion occurs between writes to the ADSCR.

Serial Communications Interface Module (SCI)

18.8.2	PTE1/RxD (Receive Data)	258
18.9	I/O Registers	259
18.9.1	SCI Control Register 1	259
18.9.2	SCI Control Register 2	262
18.9.3	SCI Control Register 3	265
18.9.4	SCI Status Register 1	268
18.9.5	SCI Status Register 2	272
18.9.6	SCI Data Register	273
18.9.7	SCI Baud Rate Register	274

18.2 Introduction

This section describes the serial communications interface (SCI) module, which allows high-speed asynchronous communications with peripheral devices and other MCUs.

NOTE: *References to DMA (direct-memory access) and associated functions are only valid if the MCU has a DMA module. This MCU does not have the DMA function. Any DMA-related register bits should be left in their reset state for normal MCU operation.*

18.3 Features

Features of the SCI module include:

- Full-duplex operation
- Standard mark/space non-return-to-zero (NRZ) format
- 32 programmable baud rates
- Programmable 8-bit or 9-bit character length
- Separately enabled transmitter and receiver
- Separate receiver and transmitter CPU interrupt requests
- Programmable transmitter output polarity

Serial Communications Interface Module (SCI)
Features

- Two receiver wakeup methods:
 - Idle line wakeup
 - Address mark wakeup
- Interrupt-driven operation with eight interrupt flags:
 - Transmitter empty
 - Transmission complete
 - Receiver full
 - Idle receiver input
 - Receiver overrun
 - Noise error
 - Framing error
 - Parity error
- Receiver framing error detection
- Hardware parity checking
- 1/16 bit-time noise detection
- Configuration register bit, SCIBDSRC, to allow selection of baud rate clock source

Monitor ROM (MON)

15.3 Features

Features of the monitor ROM include:

- 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
- Enhanced PLL (phase-locked loop) option to allow use of external 32.768-kHz crystal to generate internal frequency of 2.4576 MHz
- 307 bytes monitor ROM code size (\$FE20 to \$FF52)
- Monitor mode entry without high voltage, V_{TST} , if reset vector is blank (\$FFFE and \$FFFF contain \$FF)
- Standard monitor mode entry if high voltage, V_{TST} , is applied to \overline{TRQ}

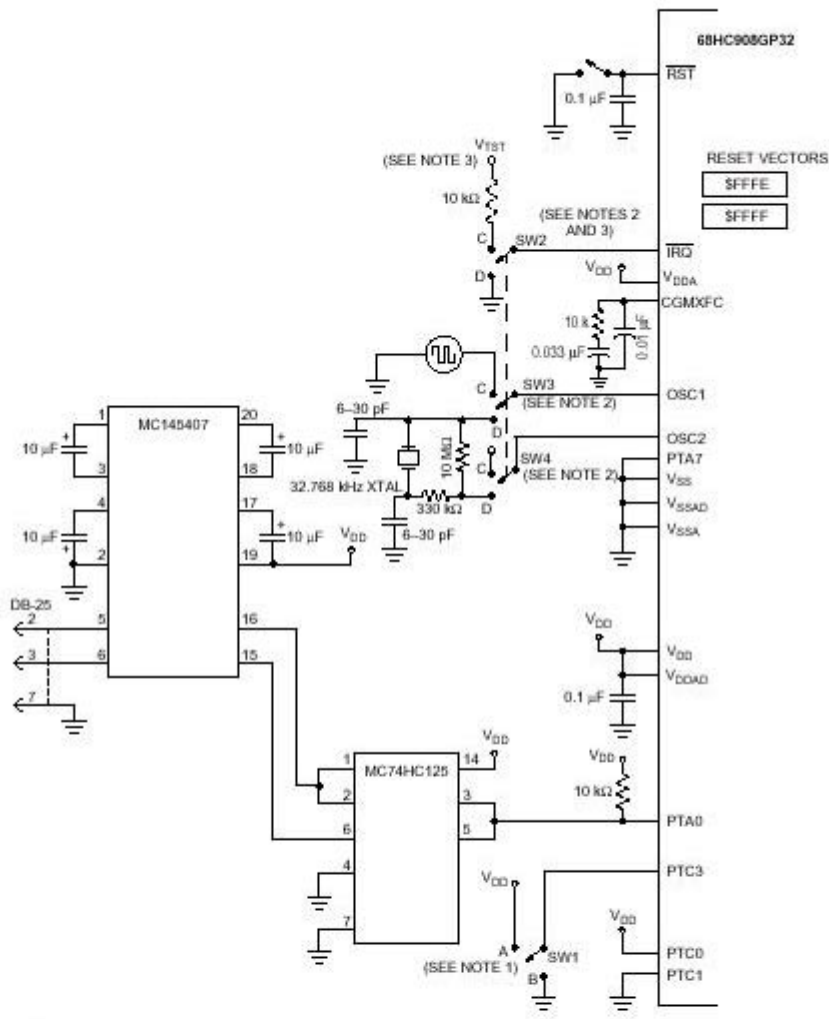
15.4 Functional Description

The monitor ROM receives and executes commands from a host computer. **Figure 15-1** 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 code downloaded into RAM by a host computer while most MCU pins retain normal operating mode functions. All communication between the host computer and the MCU is through the PTA0 pin. A level-shifting and multiplexing interface is required

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

Monitor ROM (MON)
Functional Description



Notes:

- For monitor mode entry when $\overline{IRQ} = V_{TST}$:
 SW1: Position A — Bus clock = CGMXCLK + 4 or CGMVCLK + 4
 SW1: Position B — Bus clock = CGMXCLK + 2
- SW2, SW3, and SW4: Position C — Enter monitor mode using external oscillator.
 SW2, SW3, and SW4: Position D — Enter monitor mode using external XTAL and internal PLL.
- See Table 15-1 for \overline{IRQ} voltage level requirements.

Figure 15-1. Monitor Mode Circuit

Monitor ROM (MON)

between PTA0 and the host computer. PTA0 is used in a wired-OR configuration and requires a pullup resistor.

The monitor code has been updated from previous versions of the monitor code to allow enabling the PLL to generate the internal clock, provided the reset vector is blank, when the device is being clocked by a low-frequency crystal. This addition, which is enabled when $\overline{\text{TRQ}}$ is held low out of reset, is intended to support serial communication/programming at 9600 baud in monitor mode by stepping up the external frequency (assumed to be 32.768 kHz) by a fixed amount to generate the desired internal frequency (2.4576 MHz). Since this feature is enabled only when $\overline{\text{TRQ}}$ is held low out of reset, it cannot be used when the reset vector is not blank because entry into monitor mode in this case requires V_{TST} on $\overline{\text{TRQ}}$.

15.4.1 Entering Monitor Mode

Table 15-1 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 \$FFFE and \$FFFF does not contain \$FF (programmed state):
 - The external clock is 4.9152 MHz with PTC3 low or 9.8304 MHz with PTC3 high
 - $\overline{\text{TRQ}} = V_{\text{TST}}$ (PLL off)
2. If \$FFFE and \$FFFF contain \$FF (erased state):
 - The external clock is 9.8304 MHz
 - $\overline{\text{TRQ}} = V_{\text{DD}}$ (this can be implemented through the internal $\overline{\text{TRQ}}$ pullup; PLL off)
3. If \$FFFE and \$FFFF contain \$FF (erased state):
 - The external clock is 32.768 kHz (crystal)
 - $\overline{\text{TRQ}} = V_{\text{SS}}$ (this setting initiates the PLL to boost the external 32.768 kHz to an internal bus frequency of 2.4576 MHz)

If V_{TST} is applied to $\overline{\text{TRQ}}$ and PTC3 is low upon monitor mode entry (above condition set 1), the bus frequency is a divide-by-two of the input clock. If PTC3 is high with V_{TST} applied to $\overline{\text{TRQ}}$ upon monitor mode entry, the bus frequency will be a divide-by-four of the input clock. Holding the

Monitor ROM (MON)

Table 15-2 summarizes the differences between user mode and monitor mode.

Table 15-2. Mode Differences

Modes	Functions					
	Reset Vector High	Reset Vector Low	Break Vector High	Break Vector Low	SWI Vector High	SWI Vector Low
User	\$FFFE	\$FFFF	\$FFFC	\$FFFD	\$FFFC	\$FFFD
Monitor	\$FEFE	\$FEFF	\$FEFC	\$FEFD	\$FEFC	\$FEFD

15.4.2 Data Format

Communication with the monitor ROM is in standard non-return-to-zero (NRZ) mark/space data format. Transmit and receive baud rates must be identical.

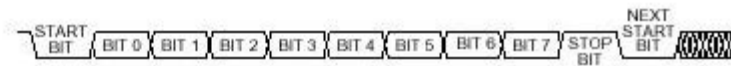


Figure 15-3. Monitor Data Format

15.4.3 Break Signal

A start bit (logic 0) followed by nine logic 0 bits is a break signal. When the monitor receives a break signal, it drives the PTA0 pin high for the duration of two bits and then echoes back the break signal.

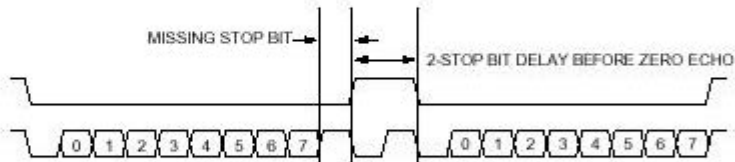


Figure 15-4. Break Transaction

15.4.4 Baud Rate

The communication baud rate is controlled by the crystal frequency and the state of the PTC3 pin (when $\overline{\text{IRQ}}$ is set to V_{TST}) upon entry into monitor mode. When PTC3 is high, the divide by ratio is 1024. If the PTC3 pin is at logic 0 upon entry into monitor mode, the divide by ratio is 512.

If monitor mode was entered with V_{DD} on $\overline{\text{IRQ}}$, then the divide by ratio is set at 1024, regardless of PTC3. If monitor mode was entered with V_{SS} on $\overline{\text{IRQ}}$, then the internal PLL steps up the external frequency, presumed to be 32.768 kHz, to 2.4576 MHz. These latter two conditions for monitor mode entry require that the reset vector is blank.

Table 15-3 lists external frequencies required to achieve a standard baud rate of 9600 BPS. Other standard baud rates can be accomplished using proportionally higher or lower frequency generators. If using a crystal as the clock source, be aware of the upper frequency limit that the internal clock module can handle. See **23.8 5.0-V Control Timing** and **23.9 3.0-V Control Timing** for this limit.

Table 15-3. Monitor Baud Rate Selection

External Frequency	$\overline{\text{IRQ}}$	PTC3	Internal Frequency	Baud Rate (BPS)
4.9152 MHz	V_{TST}	0	2.4576 MHz	9600
9.8304 MHz	V_{TST}	1	2.4576 MHz	9600
9.8304 MHz	V_{DD}	X	2.4576 MHz	9600
32.768 kHz	V_{SS}	X	2.4576 MHz	9600

15.4.5 Commands

The monitor ROM firmware uses these commands:

- READ (read memory)
- WRITE (write memory)
- IREAD (indexed read)

Timer Interface Module (TIM)

22.2 Introduction

This section describes the timer interface (TIM) module. The TIM is a two-channel timer that provides a timing reference with input capture, output compare, and pulse-width-modulation functions. **Figure 22-1** is a block diagram of the TIM.

This particular MCU has two timer interface modules which are denoted as TIM1 and TIM2.

22.3 Features

Features of the TIM include:

- Two input capture/output compare channels:
 - Rising-edge, falling-edge, or any-edge input capture trigger
 - Set, clear, or toggle output compare action
- Buffered and unbuffered pulse-width-modulation (PWM) signal generation
- Programmable TIM clock input with 7-frequency internal bus clock prescaler selection
- Free-running or modulo up-count operation
- Toggle any channel pin on overflow
- TIM counter stop and reset bits
- Modular architecture expandable to eight channels

Timer Interface Module (TIM)

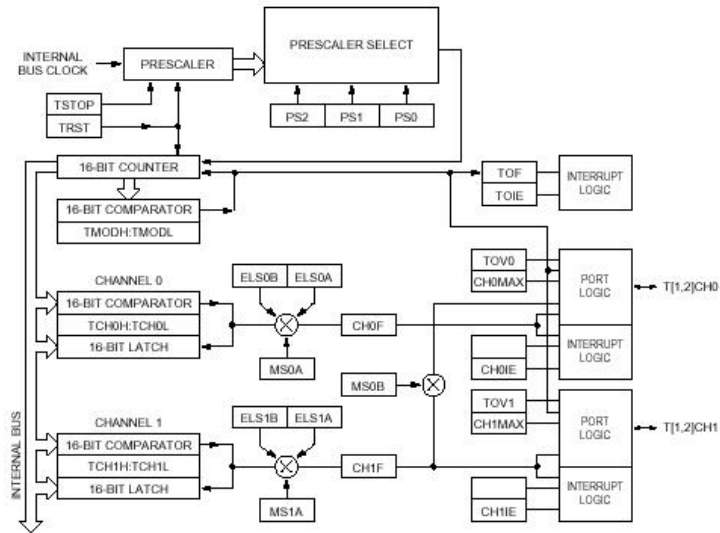



Figure 22-1. TIM Block Diagram

14.2.2 Búfer de tercer estado 74HCT125.

Fuente:

www.chipbook.co.kr/pdf/st/2102.pdf



M54/74HCT125
M54/74HCT126

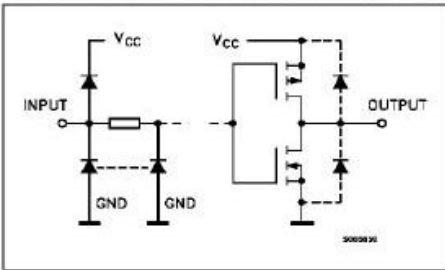
QUAD BUS BUFFERS (3-STATE)


- HIGH SPEED
 $t_{PD} = 12 \text{ ns (TYP.) AT } V_{CC} = 5 \text{ V}$
- LOW POWER DISSIPATION
 $I_{CC} = 4 \mu\text{A (MAX.) AT } 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- OUTPUT DRIVE CAPABILITY
15 LSTTL LOADS
- BALANCED PROPAGATION DELAYS
 $t_{PLH} = t_{PHL}$
- SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE
 $I_{OL} = |I_{OH}| = 6 \text{ mA (MIN.)}$
- COMPATIBLE WITH TTL OUTPUTS
 $V_{IH} = 2 \text{ V (MIN.) } V_{IL} = 0.8 \text{ V (MAX)}$
- PIN AND FUNCTION COMPATIBLE
WITH 54/74LS125/126


DESCRIPTION


The M54/74HCT125/126 are high speed CMOS QUAD BUS BUFFER (3-STATE) FABRICATED IN SILICON GATE C²MOS technology. They have the same high speed performance of LSTTL combined with true CMOS low power consumption. These devices require the same 3-STATE control input G to be taken high to make the output go into the high impedance state. This integrated circuit has input and output characteristics that are fully compatible with 54/74 LSTTL logic families. M54/74HCT devices are designed to directly interface HSC²MOS systems with TTL and NMOS components. They are also plug in replacements for LSTTL devices giving a reduction of power consumption. All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.


INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT




B1R
(Plastic Package)


F1R
(Ceramic Package)


M1R
(Micro Package)

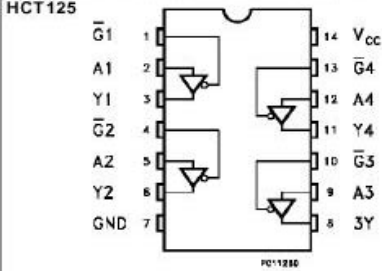

C1R
(Chip Carrier)

ORDER CODES :

M54HCTXXXF1R	M74HCTXXXM1R
M74HCTXXXB1R	M74HCTXXXC1R

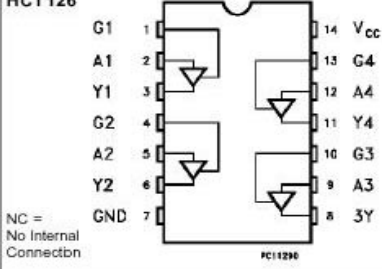
PIN CONNECTIONS (top view)

HCT125



PC11280

HCT126



PC11290

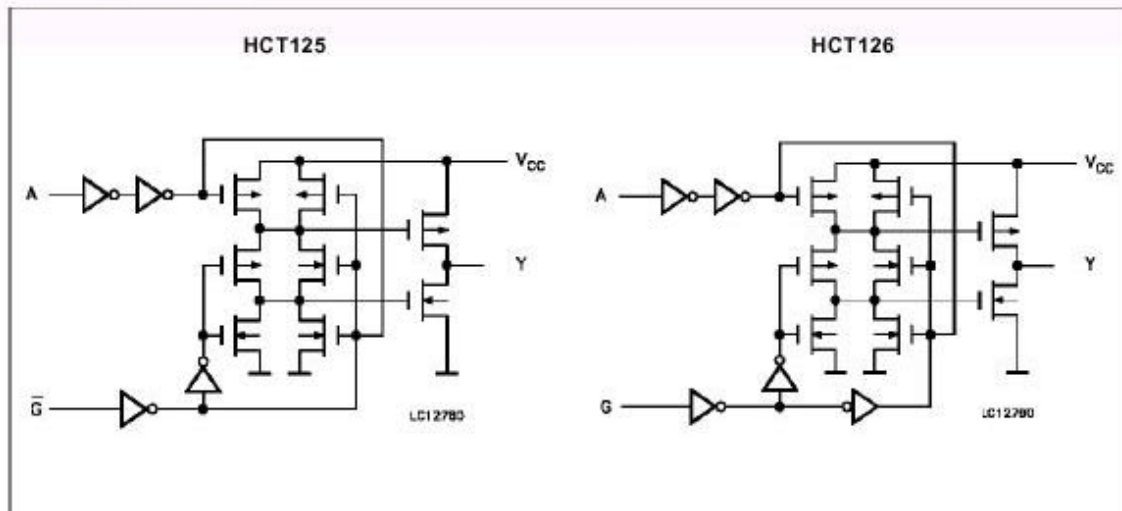
NC = No Internal Connection

October 1993

1/10

M54/M74HCT125/126

CIRCUIT DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	-0.5 to +7	V
V_I	DC Input Voltage	-0.5 to $V_{CC} + 0.5$	V
V_O	DC Output Voltage	-0.5 to $V_{CC} + 0.5$	V
I_{IK}	DC Input Diode Current	± 20	mA
I_{OK}	DC Output Diode Current	± 20	mA
I_O	DC Output Source Sink Current Per Output Pin	± 35	mA
I_{CC} or I_{GND}	DC V_{CC} or Ground Current	± 70	mA
P_D	Power Dissipation	500 (*)	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	$^{\circ}C$
T_L	Lead Temperature (10 sec)	300	$^{\circ}C$

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these conditions is not implied.
 (*) 500 mW: $\approx 65^{\circ}C$ derate to 300 mW by 10mW/ $^{\circ}C$: 65 $^{\circ}C$ to 85 $^{\circ}C$

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	4.5 to 5.5	V
V_I	Input Voltage	0 to V_{CC}	V
V_O	Output Voltage	0 to V_{CC}	V
T_{op}	Operating Temperature: M54HC Series M74HC Series	-55 to +125 -40 to +85	$^{\circ}C$
t_r, t_f	Input Rise and Fall Time ($V_{CC} = 4.5$ to $5.5V$)	0 to 500	ns

14.2.3 NTE5600 Gated Triac.

Fuente:

<http://sescodatasytems.com/specs/5600to5699/NTE5600.html>

NTE5600 thru NTE5607 TRIAC, 4 Amp

Description:

The NTE5600 through NTE5607 TRIACs are designed primarily for full-wave AC control applications such as light dimmers, motor controls, heating controls and power supplies; or wherever full-wave silicon gate controlled solid-state devices are needed. TRIAC type thyristors switch from a blocking to a conducting state for either polarity of applied anode voltage with positive or negative gate triggering.

Features:

- 2 Mode Gate Triggering
- Blocking Voltages to 600V
- All Diffused and Glass Passivated Junctions for Greater Parameters Uniformity and Stability

Absolute Maximum Ratings: ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Repetitive Peak Off-State Voltage ($T_C = +110^\circ\text{C}$, Note 1), V_{DRM}	25V
NTE5600	50V
NTE5601	100V
NTE5602	200V
NTE5603	300V
NTE5604	400V
NTE5605	500V
NTE5606	600V
NTE5607	
RMS On-State Current ($T_C = +85^\circ\text{C}$), $I_{\text{T(RMS)}}$	4A
Peak Surge Current (One Full Cycle, 60Hz, $T_J = -40^\circ$ to $+110^\circ\text{C}$), I_{TSM}	30A
Circuit Fusing ($t = 8.3\text{ms}$), I^2t	3.7A ² s
Peak Gate Power, P_{GM}	10W
Average Gate Power, $P_{\text{G(AV)}}$	0.5W
Peak Gate Voltage, V_{GM}	5V
Operating Junction Temperature Range, T_J	-40° to $+110^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, T_{stg}	-40° to $+150^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case, R_{thJC}	3.5°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient, R_{thJA}	75°C/W
Mounting Torque (6-32 Screw, Note 2)	8 in. lb.

Note Ratings apply for open gate conditions. Thyristor devices shall not be tested with a constant current source for

1. blocking capability such that the voltage applied exceeds the rated blocking voltage.

Note Torque rating applies with the use of a compression washer. Mounting torque in excess of 8 in. lb. does not

2. appreciably lower case-to-sink thermal resistance. MT_2 and heatsink contact pad are common.

Electrical Characteristics: ($T_C = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Sym bol	Test Conditions	M in	T yp	M ax	Un it	
Peak Forward or Reverse Blocking Current	I_{DRM} I_{RRM}	Rated V_{DRM} or V_{DRM} , Gate Open	$T_J = +25^\circ\text{C}$	-	-	10	μA
			$T_J = +110^\circ\text{C}$	-	-	2	m A
On-State Voltage (Either Direction)	V_{TM}	$I_{TM} = 6\text{A Peak}$	-	-	2	V	
Peak Gate Trigger Voltage MT ₂ (+), G (+); MT ₂ (-), G (-) MT ₂ (+), G (-); MT ₂ (-), G (+)	V_{GT}	Main Terminal Voltage = 12V, $R_L = 100\ \text{Ohms}$, $T_J = -40^\circ\text{C}$	-	1.4	2.5	V	
Peak Gate Trigger Voltage MT ₂ (+), G (+); MT ₂ (-), G (-) MT ₂ (+), G (-); MT ₂ (-), G (+)	V_{GT}	Main Terminal Voltage = Rated V_{DRM} , $R_L = 10\text{k Ohms}$, $T_J = +110^\circ\text{C}$	0.2	-	-	V	
Holding Current (Either Direction)	I_H	Main Terminal Voltage = 12V, Gate Open, $T_J = -40^\circ\text{C}$, Initiating Current = 1A	-	-	70	m A	
		Main Terminal Voltage = 12V, Gate Open, $T_J = -40^\circ\text{C}$	-	-	30	m A	
Turn-On Time (Either Direction)	t_{on}	$I_{TM} = 14\text{A}$, $I_{GT} = 100\text{mA}$	-	1.5	-	μs	
Blocking Voltage Application Rate at Commutation	dv/dt	Rated V_{DRM} , Gate Open, $T_J = +85^\circ\text{C}$	-	5	-	V/ μs	
Gate Trigger Current (Quads I & III)	I_{GT}	Main Terminal Voltage = 12V, $R_L = 100\ \text{Ohms}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$	$T_J = +25^\circ\text{C}$	-	-	30	m A
			$T_J = -40^\circ\text{C}$	-	-	60	m A

SESCO Data Systems (916) 441-4060 - (800) 441-0230 - Fax

14.2.4 MOC3021 Triac Driver.

Fuente:

<http://www.fairchildsemi.com/products/opto/datasheets/oi/MOC3020M.pdf>



6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3020 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option. They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V _R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I _F	60	mA
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P _D	100	mW
		1.33	mW/°C

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I _{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	300	mW
		4	mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V _{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	330	mW
		4.4	mW/°C
Junction Temperature Range	T _J	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range	T _A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T _L	260	°C

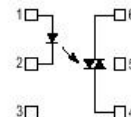
1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

**MOC3021
MOC3022
MOC3023**



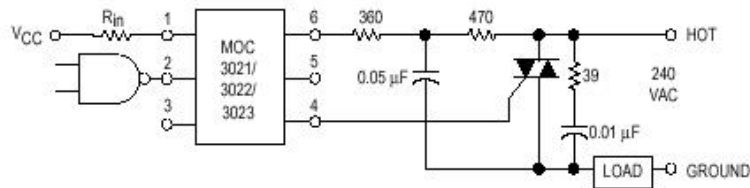
STANDARD THRU HOLE

SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL





* This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Additional information on the use of optically coupled triac drivers is available in Application Note AN-780A.

In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

The 39 ohm resistor and 0.01 μF capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05 μF capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Typical Application Circuit

12.2.5 Multiplexor Analógico CMOS 4051.

Fuente:

f5exo.free.fr/meteo/ftp/4051.pdf



CD4051B, CD4052B, CD4053B

Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS047D

August 1998 - Revised March 2000

CMOS Analog Multiplexers/Demultiplexers with Logic Level Conversion

The CD4051B, CD4052B, and CD4053B analog multiplexers are digitally-controlled analog switches having low ON impedance and very low OFF leakage current. Control of analog signals up to 20V_{P-P} can be achieved by digital signal amplitudes of 4.5V to 20V (if V_{DD}-V_{SS} = 3V, a V_{DD}-V_{EE} of up to 13V can be controlled; for V_{DD}-V_{EE} level differences above 13V, a V_{DD}-V_{SS} of at least 4.5V is required). For example, if V_{DD} = +4.5V, V_{SS} = 0V, and V_{EE} = -13.5V, analog signals from -13.5V to +4.5V can be controlled by digital inputs of 0V to 5V. These multiplexer circuits dissipate extremely low quiescent power over the full V_{DD}-V_{SS} and V_{DD}-V_{EE} supply-voltage ranges, independent of the logic state of the control signals. When a logic "1" is present at the inhibit input terminal, all channels are off.

The CD4051B is a single 8-Channel multiplexer having three binary control inputs, A, B, and C, and an inhibit input. The three binary signals select 1 of 8 channels to be turned on, and connect one of the 8 inputs to the output.

The CD4052B is a differential 4-Channel multiplexer having two binary control inputs, A and B, and an inhibit input. The two binary input signals select 1 of 4 pairs of channels to be turned on and connect the analog inputs to the outputs.

The CD4053B is a triple 2-Channel multiplexer having three separate digital control inputs, A, B, and C, and an inhibit input. Each control input selects one of a pair of channels which are connected in a single-pole, double-throw configuration.

When these devices are used as demultiplexers, the "CHANNEL IN/OUT" terminals are the outputs and the "COMMON OUT/IN" terminals are the inputs.

Features

- Wide Range of Digital and Analog Signal Levels
 - Digital 3V to 20V
 - Analog ≤20V_{P-P}
- Low ON Resistance, 125Ω (Typ) Over 15V_{P-P} Signal Input Range for V_{DD}-V_{EE} = 18V
- High OFF Resistance, Channel Leakage of ±100pA (Typ) at V_{DD}-V_{EE} = 18V
- Logic-Level Conversion for Digital Addressing Signals of 3V to 20V (V_{DD}-V_{SS} = 3V to 20V) to Switch Analog Signals to 20V_{P-P} (V_{DD}-V_{EE} = 20V)
- Matched Switch Characteristics, τ_{ON} = 5Ω (Typ) for V_{DD}-V_{EE} = 15V
- Very Low Quiescent Power Dissipation Under All Digital-Control Input and Supply Conditions, 0.2μW (Typ) at V_{DD}-V_{SS} = V_{DD}-V_{EE} = 10V
- Binary Address Decoding on Chip
- 5V, 10V and 15V Parametric Ratings
- 10% Tested for Quiescent Current at 20V
- Maximum Input Current of 1μA at 18V Over Full Package Temperature Range, 100nA at 18V and 25°C
- Break-Before-Make Switching Eliminates Channel Overlap

Applications

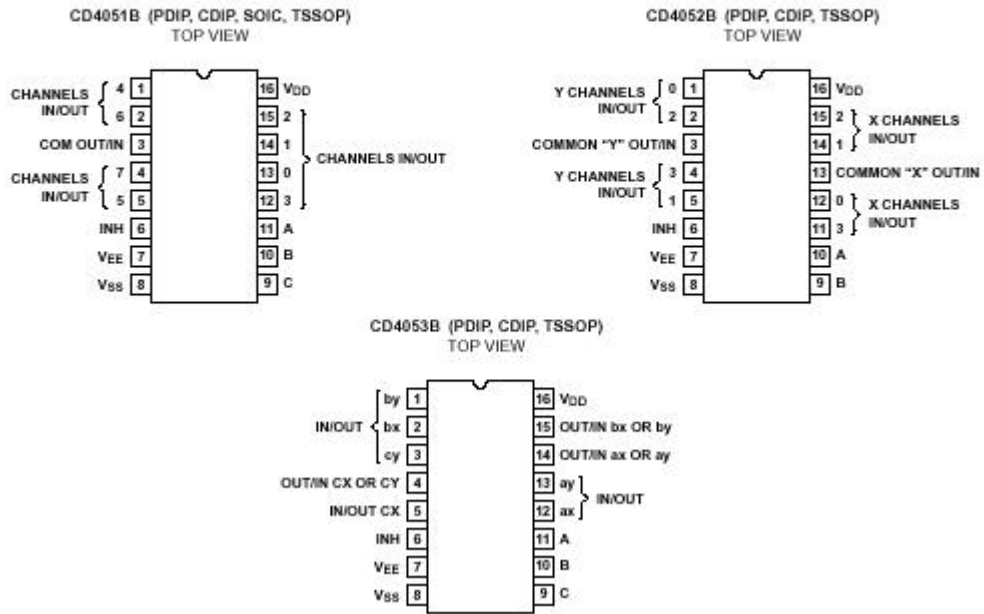
- Analog and Digital Multiplexing and Demultiplexing
- A/D and D/A Conversion
- Signal Gating

Ordering Information

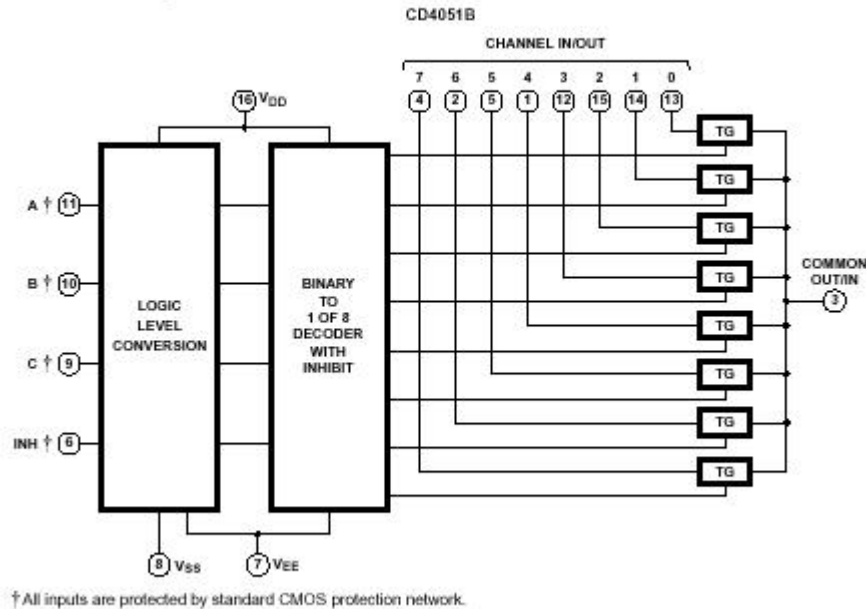
PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD4051BF, CD4052BF, CD4053BF	-55 to 125	16 Ld CERAMIC DIP
CD4051BE, CD4052BE, CD4053BE	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD4051BM, CD4051BNS	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4051BPW, CD4052BPW, CD4053BPW	-55 to 125	16 Ld TSSOP

CD4051B, CD4052B, CD4053B

Pinouts



Functional Block Diagrams



CD4051B, CD4052B, CD4053B

TRUTH TABLES

INPUT STATES				"ON" CHANNEL(S)
INHIBIT	C	B	A	
CD4051B				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None
CD4052B				
INHIBIT	B		A	
0	0		0	0x, 0y
0	0		1	1x, 1y
0	1		0	2x, 2y
0	1		1	3x, 3y
1	X		X	None
CD4053B				
INHIBIT	A OR B OR C			
0	0			ax or bx or cx
0	1			ay or by or cy
1	X			None

X = Don't Care

CD4051B, CD4052B, CD4053B

Electrical Specifications Common Conditions Here: If Whole Table is For the Full Temp. Range, $V_{SUPPLY} = \pm 5V$, $A_V = +1$, $R_L = 100\Omega$, Unless Otherwise Specified (Continued) (Note 3)

PARAMETER	CONDITIONS				LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V_{IS} (V)	V_{EE} (V)	V_{SS} (V)	V_{DD} (V)	-55	-40	85	125	25			
									MIN	TYP	MAX	
CONTROL (ADDRESS OR INHIBIT), V_C												
Input Low Voltage, V_{IL} , Max	$V_{IL} = V_{DD}$ through 1k Ω ; $V_{IH} = V_{DD}$ through 1k Ω	$V_{EE} = V_{SS}$, $R_L = 1k\Omega$ to V_{SS} , $I_{IS} < 2\mu A$ on All OFF Channels	V_{DD}	5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-	1.5	V
				10	3	3	3	3	-	-	3	V
				15	4	4	4	4	-	-	4	V
Input High Voltage, V_{IH} , Min	$V_{IL} = V_{DD}$ through 1k Ω ; $V_{IH} = V_{DD}$ through 1k Ω	$V_{EE} = V_{SS}$, $R_L = 1k\Omega$ to V_{SS} , $I_{IS} < 2\mu A$ on All OFF Channels	V_{DD}	5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	V
				10	7	7	7	7	7	-	-	V
				15	11	11	11	11	11	-	-	V
Input Current, I_{IN} (Max)	$V_{IN} = 0, 18$			18	± 0.1	± 0.1	± 1	± 1	-	$\pm 10^{-5}$	± 0.1	μA
Propagation Delay Time: Address-to-Signal OUT (Channels ON or OFF) See Figures 10, 11, 14	$t_r, t_f = 20ns$, $C_L = 50pF$, $R_L = 10k\Omega$	0	0	5	-	-	-	-	-	450	720	ns
				10	-	-	-	-	-	160	320	ns
				15	-	-	-	-	-	120	240	ns
				-5	0	5	-	-	-	-	225	450
Propagation Delay Time: Inhibit-to-Signal OUT (Channel Turning ON) See Figure 11	$t_r, t_f = 20ns$, $C_L = 50pF$, $R_L = 1k\Omega$	0	0	5	-	-	-	-	-	400	720	ns
				10	-	-	-	-	-	160	320	ns
				15	-	-	-	-	-	120	240	ns
				-10	0	5	-	-	-	-	200	400
Propagation Delay Time: Inhibit-to-Signal OUT (Channel Turning ON) See Figure 11	$t_r, t_f = 20ns$, $C_L = 50pF$, $R_L = 1k\Omega$	0	0	5	-	-	-	-	-	400	720	ns
				10	-	-	-	-	-	160	320	ns
				15	-	-	-	-	-	120	240	ns
				-10	0	5	-	-	-	-	200	400
Propagation Delay Time: Inhibit-to-Signal OUT (Channel Turning OFF) See Figure 15	$t_r, t_f = 20ns$, $C_L = 50pF$, $R_L = 10k\Omega$	0	0	5	-	-	-	-	-	200	450	ns
				10	-	-	-	-	-	90	210	ns
				15	-	-	-	-	-	70	160	ns
				-10	0	5	-	-	-	-	130	300
Input Capacitance, C_{IN} (Any Address or Inhibit Input)				-	-	-	-	-	5	7.5	pF	

NOTE:

- Determined by minimum feasible leakage measurement for automatic testing.

Electrical Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LIMITS	UNITS		
	V_{IS} (V)	V_{DD} (V)	R_L (k Ω)				
Cutoff (-3dB) Frequency Channel ON (Sine Wave Input)	5 (Note 3)	10	1	V_{OS} at Common OUT/IN	CD4053	30	MHz
					CD4052	25	MHz
					CD4051	20	MHz
				$V_{EE} = V_{SS}$, $20 \log \frac{V_{OS}}{V_{IS}} = -3dB$	V_{OS} at Any Channel	60	MHz