

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Sistema de supervisión de dispositivos de Refrigeración por compresión de vapor

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Luis Pablo Guevara Chacón

Cartago, Noviembre de 2007

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

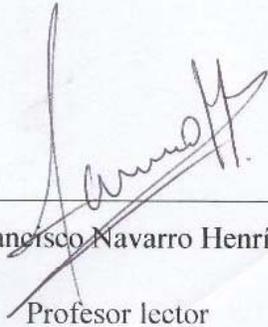
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

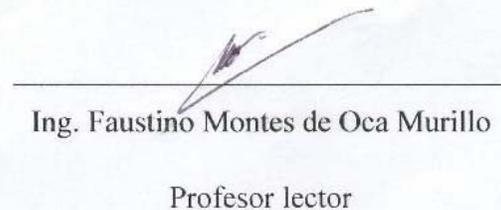
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

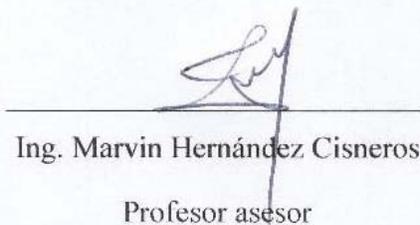
Miembros del Tribunal



Ing. Francisco Navarro Henríquez
Profesor lector



Ing. Faustino Montes de Oca Murillo
Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

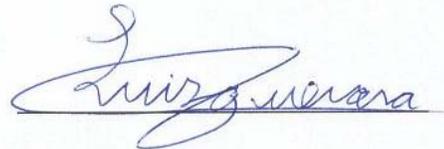
Cartago, Costa Rica, 28 de noviembre del 2007

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 28 de noviembre del 2007

A handwritten signature in blue ink, reading "Luis Pablo Guevara Chacón", written over a horizontal line.

Luis Pablo Guevara Chacón

Cédula: 2- 0588- 0064

Resumen

Este proyecto se realizó para la empresa COOLTECH que se dedica a la venta, instalación y mantenimiento de sistemas de refrigeración.

Los sistemas de refrigeración son ampliamente utilizados para diferentes propósitos e industrias en las que se necesita mantener una temperatura deseada. Ejemplos de esto son la industria alimentaria y tecnológica, en las cuales de no conservar la temperatura en un rango específico, los productos se dañan causando pérdidas millonarias.

Estos sistemas necesitan de mantenimiento constante ya que el bienestar y funcionamiento de otros productos o equipos dependen de una adecuada climatización.

El mantenimiento no puede ejecutarse diaria ni inmediatamente por el personal debido al costo de tiempo y dinero que esto representa, esto originó la idea de desarrollar un sistema de supervisión en tiempo real capaz de funcionar las 24 horas del día. Mediante este proceso se puede dar un seguimiento de los equipos climatizadores que permita garantizar un funcionamiento adecuado tanto del sistema de refrigeración y consecuentemente de los bienes bajo que protege.

Palabras clave: sistemas de refrigeración, temperatura, mantenimiento, supervisión en tiempo real.

Abstract

This project was developed at COOLTECH, a company dedicated to sell, install and to give support to refrigeration systems.

The refrigeration systems are widely used for different purposes and industries in which a specific temperature is required. Some examples of this are the food and technological industries; in both cases if a specific range of temperature is not achieved the products will get damaged causing enormous economical lost.

These systems need regular maintenance because the well-being or functionality of other products or equipment depends on an appropriate air conditioning.

The maintenance can not be executed daily or immediately by the service personal because of the cost this represents, then the solution is developing a system that could be able of monitoring in real time and 24 hours a day the status of the air conditioning equipment. Thru this process it is possible to keep track of the updated information of the cooling system. This guaranties an adequate performance of the device and consequently of the equipment it protects.

Keywords: refrigeration systems (air conditioning), temperature, maintenance, real time monitoring.

Dedicatoria

A mis padres les dedico este logro que con tanto esfuerzo y dedicación he alcanzado, cosa que nunca hubiera obtenido sin el apoyo incondicional e incuestionable que me brindaron en absolutamente todos los momentos de mi carrera, el sustento que mis dos padres me brindaron fue incomparable y fue aún más fuerte en los momentos más difíciles y frustrantes.

Debo decir que su constante motivación y entendimiento han sido inmensos y decisivos para que a lo largo de mi vida haya obtenido todas mis metas y siempre este en búsqueda de nuevas aspiraciones.

Son ustedes además de mi soporte mi ejemplo a seguir, que Dios los bendiga y me permita tener la capacidad de retribuirles a ustedes al menos una pequeñísima parte de lo muchísimo que me han dado.

Agradecimiento

Agradezco en primera instancia a mis padres por el apoyo ilimitado que me brindaron a través de toda mi vida, lo cual permitió que siempre pudiera alcanzar mis objetivos sin miedos ni presiones, sino más bien con comprensión, paciencia y esperanza.

Quiero agradecer también a todas aquellas personas que han tenido un desinteresado deseo de ayudarme en lo que fuera desde el inicio de mi vida como lo han sido mis abuelos y hermanos.

A lo largo de mi vida muchísimas personas me han dado su mano para surgir y me han aportado en la formación de mi persona, entre ellas incluyo a muchos educadores que desde muy niño han inculcado cosas buenas en mí. A todos mis amigos les agradezco por que también han servido para darme apoyo y compartir buenos momentos y pensamientos.

De manera especial agradezco al Ingeniero Gustavo Madrigal el haberme brindado la oportunidad y confianza para realizar este proyecto en su empresa.

Ante todo gracias al Padre Eterno por acompañarme a lo largo de todo este camino.

Pura Vida.

INDICE GENERAL

Capítulo 1 : Introducción	1
1.1 Problema existente e importancia de su solución	1
1.2 Solución seleccionada	4
Capítulo 2 : Meta y Objetivos	6
2.1 Meta.....	6
2.2 Objetivo general.....	6
2.3 Objetivos específicos	6
Capítulo 3 : Marco Teórico	8
3.1 Descripción del sistema o proceso por mejorar.....	8
3.2 Principios relacionados con la solución del problema	11
3.2.1 Refrigeración por Compresión de Vapor	11
3.2.2 Redes LAN y Ethernet.....	14
3.2.3 Lenguaje de programación C# .net:	19
Capítulo 4 : Procedimiento metodológico	21
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	21
4.1.1 Generalidades	21
4.1.2 Descripción Sintética del Problema.....	22
4.2 Obtención y análisis de información	22
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	23
4.4 Implementación de la solución	23
4.5 Reevaluación y rediseño	24
Capítulo 5 : Descripción detallada de la solución	25
5.1 Análisis de soluciones y selección final.....	25
5.1.1 Generalidades	25
5.1.2 Microcontrolador.....	25
5.1.3 Módulo serie-ethernet	29
5.1.4 Sensores de Temperatura.....	31
5.1.5 Sensor de Corriente	34
5.1.6 Sensor de Presión	36
5.2 Diseño de la solución implementada.....	37
5.2.1 Lectura de Magnitudes	37
5.2.2 Control Principal	38
5.2.3 Diseño del Protocolo de Comunicación.....	40
5.2.4 Diseño del software	43
5.3 Descripción del hardware	44
5.3.1 Fuente de Alimentación.....	44
5.3.2 Circuito Acondicionador de Señal para sensores de Temperatura	49
5.3.3 Circuito Acondicionador de Señal para sensores de Presión	54
5.3.4 Circuito Acondicionador de Señal para sensor de Corriente.....	59
5.3.5 Circuito Acondicionador de Señal para sensor de Voltaje	66
5.3.6 Circuito para control de contactores de activación.....	69
5.3.7 Circuito para control general y despliegue	71
5.3.8 Circuito total unificado	73
5.3.8 Circuito (serial-to-ethernet) SB-70.....	75
5.4 Descripción del software.....	77
5.4.1 Programa del microcontrolador PIC18F4680	77
5.4.1.1 Módulo Principal	80

5.4.1.2	Interrupción (Recepción)	81
5.4.1.3	Principal y Despliegue	82
5.4.1.4	Transmite Trama	82
5.4.1.5	Menú de Referencias	83
5.4.1.6	Menú de Calibración	84
5.4.1.7	Manejo del LCD	85
5.4.2	Software de recepción y almacenamiento de datos en PC	86
5.4.2.1	Interfaz	87
5.4.2.2	Conexión a Ethernet	89
5.4.2.3	Sistema de Archivos	90
5.4.2.4	Objetos	92
Capítulo 6	: Análisis de Resultados	93
6.1	Resultados	93
6.2	Análisis	105
Capítulo 7	: Conclusiones y Recomendaciones	112
7.1	Conclusiones	112
7.2	Recomendaciones	114
Bibliografía		115
Capítulo 8	: Apéndices y Anexos	116
8.1	Apéndices	116
	Apéndice A.1. Abreviaturas	116
	Apéndice A.2. Diagramas de Flujo del programa del Microcontrolador (PIC)	117
	Apéndice A.3. Programa del software de recepción	123
8.2	Anexos	128
	Anexo B.1. Hoja de datos PIC18F4680	128
	Anexo B.2. SB70 (Serial-to-Ethernet)	130
	Anexo B.3. LM35	131
	Anexo B.4. MSP300-500-2	132
	Anexo B.5. Tamura L08P100D15	134
	Anexo B.6. NTE 987	135
	Anexo B.7. NTE 858	136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Radio-Base de celulares del ICE.....	2
Figura 1-2 Diagrama General de Solución.....	5
Figura 3-1 Funcionamiento básico modular de un equipo de refrigeración.....	9
Figura 3-2 Ciclo de refrigeración básico.....	11
Figura 3-3 Interconexión de la tubería de refrigerante.....	13
Figura 3-4 Una red LAN.....	14
Figura 3-5 Capas del Modelo OSI.....	16
Figura 3-6 Ethernet en el Modelo OSI.....	18
Figura 5-1 Sensores de corriente.....	35
Figura 5-2 Sensores de presión.....	36
Figura 5-3 Recorrido cíclico de sensores.....	37
Figura 5-4 Diagrama de ejecución de funciones.....	39
Figura 5-5 Mensaje de comunicación emitida por el microcontrolador.....	41
Figura 5-6 Esquemático de Fuente de Alimentación.....	47
Figura 5-7 Diseño del Circuito Impreso de la Fuente de Alimentación.....	48
Figura 5-8 Circuito de Fuente de Alimentación.....	48
Figura 5-9 Terminales del sensor de temperatura.....	50
Figura 5-10 Amplificador No inversor.....	51
Figura 5-11 Circuito Acondicionador de señal para sensor de temperatura.....	51
Figura 5-12 Esquemático del CAS de temperatura.....	53
Figura 5-13 Diseño del Circuito Impreso del (CAS) de temperatura.....	53
Figura 5-14 Terminales del sensor de presión.....	55
Figura 5-15 Amplificador Diferencial.....	56
Figura 5-16 Circuito Acondicionador de señal para sensor de presión.....	57
Figura 5-17 Esquemático del CAS de temperatura.....	58
Figura 5-18 Diseño del Circuito Impreso del (CAS) de presión.....	59
Figura 5-19 Terminales del sensor de corriente.....	60
Figura 5-20 Circuito para la obtención de valor medio absoluto.....	61
Figura 5-21 Circuito Acondicionador de señal para sensor de corriente.....	62
Figura 5-22 Esquemático del CAS de corriente.....	65
Figura 5-23 Diseño del Circuito Impreso del (CAS) de Corriente.....	65
Figura 5-24 Circuito Acondicionador de señal para sensor de corriente.....	67
Figura 5-25 Esquemático del CAS de voltaje.....	69
Figura 5-26 Esquemático la etapa de control.....	70
Figura 5-27 Esquemático la etapa de control general.....	72
Figura 5-28 Diseño del Circuito Impreso del Control General.....	73
Figura 5-29 Diseño del Circuito Impreso del Control General.....	74
Figura 5-30 Circuito de supervisión de sistemas de refrigeración.....	75
Figura 5-31 Diagrama de flujo del software del PIC.....	78
Figura 5-32 Características del manejo del LCD.....	85
Figura 5-33 Diagrama de flujo del software de recepción.....	86
Figura 5-34 Diagrama de funcionamiento de interfaz.....	87
Figura 5-35 Estructura de listas para manejo de datos.....	88
Figura 5-36 Diagrama de flujo de la clase Ethernet.....	89
Figura 5-37 Diagrama de almacenamiento de archivos.....	91
Figura 6-1 Resultado de la compilación del programa del PIC.....	93
Figura 6-2 Etapa de alimentación.....	94

Figura 6-3 Circuito principal	95
Figura 6-4 Interfaz del software de recepción.....	101
Figura A.2. 1 Diagrama de funcionamiento del sistema de supervisión	117
Figura A.2. 2 Diagrama de flujo de atención por entrada datos.....	118
Figura A.2. 3 Diagrama de flujo del módulo Principal y Despliegue	119
Figura A.2. 4 Diagrama de flujo del módulo Transmite Trama	120
Figura A.2. 5 Diagrama de flujo del Menú de referencias.....	121
Figura A.2. 6 Diagrama de flujo del menú de Calibración.....	122

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Magnitudes Supervisadas.....	10
Tabla 5-1 Microcontroladores y características	26
Tabla 5-2 Características de módulos serial-to-ethernet	30
Tabla 5-3 Sensores de Temperatura	32
Tabla 5-4 Funciones ejecutadas por el control Principal	38
Tabla 5-5 Composición del mensaje de comunicación.....	41
Tabla 5-6 Valores del mensaje de control.....	42
Tabla 5-7 Códigos para ejecución de pruebas	43
Tabla 5-8 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Temperatura).....	52
Tabla 5-9 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Presión)	58
Tabla 5-10 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Corriente)	64
Tabla 5-11 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Voltaje)	68
Tabla 5-12 Configuración del puerto RSEIA-TIA-232	75
Tabla 5-13 Configuración para uso en medio Ethernet	76
Tabla 5-14 Módulos del programa del microcontrolador.....	80
Tabla 6-1 Datos experimentales de temperatura.....	97
Tabla 6-2 Datos experimentales de presión	98
Tabla 6-3 Datos experimentales de corriente	98
Tabla 6-4 Mensajes desplegados en el LCD	99
Tabla 6-5 Alarmas locales en el LCD.....	100
Tabla 6-6 Formato de almacenamiento de datos	103

Capítulo 1 : Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

La empresa COOLTECH brinda servicio de venta y mantenimiento de sistemas de refrigeración a muchos tipos de clientes, desde domésticos hasta industriales.

Este proyecto esta principalmente enfocado a brindar, a través de la supervisión, seguridad a equipos costosos y de uso constante a lo largo de las veinticuatro horas del día.

Un cliente en específico es el ICE, el cual posee varias “Radio-Bases Celulares” que son contenedores metálicos ubicados alrededor del país. En estos contenedores se encuentran los equipos encargados de la comunicación por teléfonos celulares.

En la siguiente figura se muestra la situación expuesta anteriormente.



Figura 1-1 Radio-Base de celulares del ICE

Estos equipos abarcan la mayoría del volumen del contenedor y están constantemente operando con el fin de mantener el servicio telefónico celular

ininterrumpido. Este funcionamiento continuo de estos dispositivos genera emanación de calor.

El calor generado en el recinto puede llegar, en treinta minutos, a una temperatura de 40 grados centígrados dentro de los contenedores, y de no hacer algo para evitar este aumento de temperatura esta seguiría creciendo lo cual produciría en primera instancia disminución en la eficiencia del equipo y luego suspensión de la operación del equipo de comunicaciones o daño del mismo.

La suspensión del servicio o falla del equipo producirá un colapso en las comunicaciones celulares de la zona que este bajo la influencia de esa Radio – Base de celulares.

La solución obvia para evitar estos percances es instalar un sistema de refrigeración capaz de mantener la temperatura en un rango en el cual los equipos de comunicación puedan operar sin ningún riesgo lo cual garantice el servicio constante de telefonía celular.

Tanto el mismo cliente como el personal de la empresa COOLTECH están interesados en estar notificados periódicamente del estado de la temperatura en las Radio-Bases y más aún a la empresa proveedora del servicio de climatización le interesa estar al tanto del funcionamiento del sistema de refrigeración con el objetivo de garantizar el servicio de enfriamiento y de supervisar la actividad del sistema de acondicionamiento de temperatura.

1.2 Solución seleccionada

Para llegar a la solución se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Flexibilidad, con el fin de que el sistema pueda operar bajo diferentes condiciones y pueda implementarse en plazo corto de tiempo.
- Reducir el gasto de recursos, por medio del ahorro de horas de trabajo del personal y a través de la supervisión constante disminuir en gastos de reparación.
- Debe ser confiable, brindar a los usuarios veracidad en los datos obtenidos y garantía de estabilidad en el proceso de supervisión.
- Debe permitir supervisar cuatro diferentes temperaturas, dos presiones, la corriente y la presencia de voltaje en un sistema de refrigeración.
- Brindar información constante de todas las variables expresadas en el punto anterior.
- Debe permitir la comunicación en una LAN (Red de área Local).

Tomando en cuenta los puntos anteriores se realizó el diseño de un sistema capaz de adquirir los datos de los diferentes sensores, que también fuera capaz de desplegar esos valores en una pantalla con el fin de que los técnicos encargados de los Sistemas de Refrigeración observen la información. Se utilizó el puerto de comunicación serie del microcontrolador (PIC) para ofrecer la información a otro equipo que se encuentre remoto, esto a través de una circuito que permite la traducción del protocolo EIA-TIA-232 al TCP/IP.

En la siguiente figura se muestra un esquema general de la solución ejecutada. En el capítulo 5 se da una explicación detallada descripción de la solución.

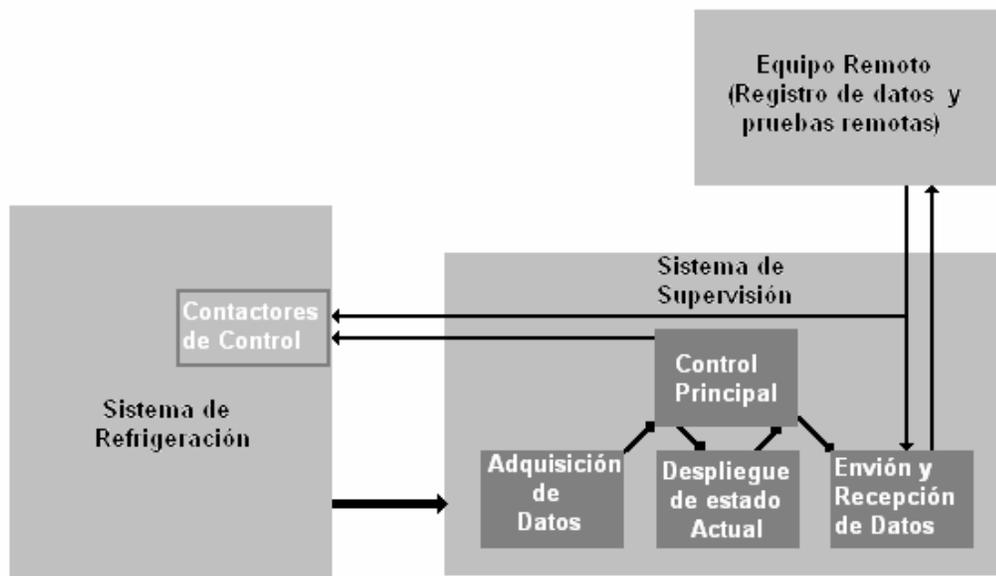


Figura 1-2 Diagrama General de Solución.

Capítulo 2 : Meta y Objetivos

2.1 Meta

Disminuir en un 70% el tiempo de respuesta del servicio de mantenimiento o reparación de equipos de refrigeración ofrecido por COOLTECH.

2.2 Objetivo general

Supervisar en tiempo real, las 24 horas del día los equipos de climatización.

Indicador: sistema capaz de monitorear variables importantes de sistemas de refrigeración constante y remotamente.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Implementar un módulo para obtener las variables de voltaje, corriente, presión y temperatura y luego convertir esos datos en información digital.

Indicador: obtención de datos de voltaje, corriente, presión y temperatura en formato digital.

2.3.2 Diseñar un módulo de control digital, capaz de tomar los datos digitalizados de las lecturas en los sensores e insertarlos en un protocolo o código con el fin de enviarlos en una trama identificable

Indicador: obtención de hardware y software de control.

2.3.3 Diseñar módulo digital de seguridad para generar alarmas en caso de riesgo y también este modulo deberá tomar acciones correctivas de ser necesario.

Indicador: obtención de hardware y software de seguridad.

2.3.4 Diseñar e implementar un software de monitoreo y procesamiento de datos.

Indicador: código en lenguaje de alto nivel para supervisión y manejo de información.

Capítulo 3 : Marco Teórico

3.1 Descripción del sistema o proceso por mejorar

La empresa COOLTECH S.A. es una empresa en continua expansión y es su afán el entregar servicios de primera calidad. Uno de los clientes más importantes de COOLTECH es el ICE.

El ICE cuenta con “celdas” celulares o recintos con los equipos de telefonía celular a lo largo del país, estos recintos son generalmente contenedores metálicos acondicionados para almacenar estos equipos.

COOLTECH fue contratado para dar mantenimiento a los equipos de enfriamiento de muchas de estas “celdas” o radio bases tanto en el valle central como en Limón y Puntarenas.

Tal y como se expuso en la sección 1.1 de este documento, mantener la temperatura constante en este tipo de recintos es fundamental para conservar la operación adecuada de los equipos. COOLTECH planteó la posibilidad, tanto al ICE como a otros clientes, de vigilar los sistemas de enfriamiento en tiempo real y las 24 horas del día lo cual produjo el nacimiento de este prototipo capaz de cumplir con dicha labor.

Los sistemas de refrigeración sobre los cuales se debe mantener una vigilancia constante se pueden representar de una manera general según lo muestra la Figura 3.1.

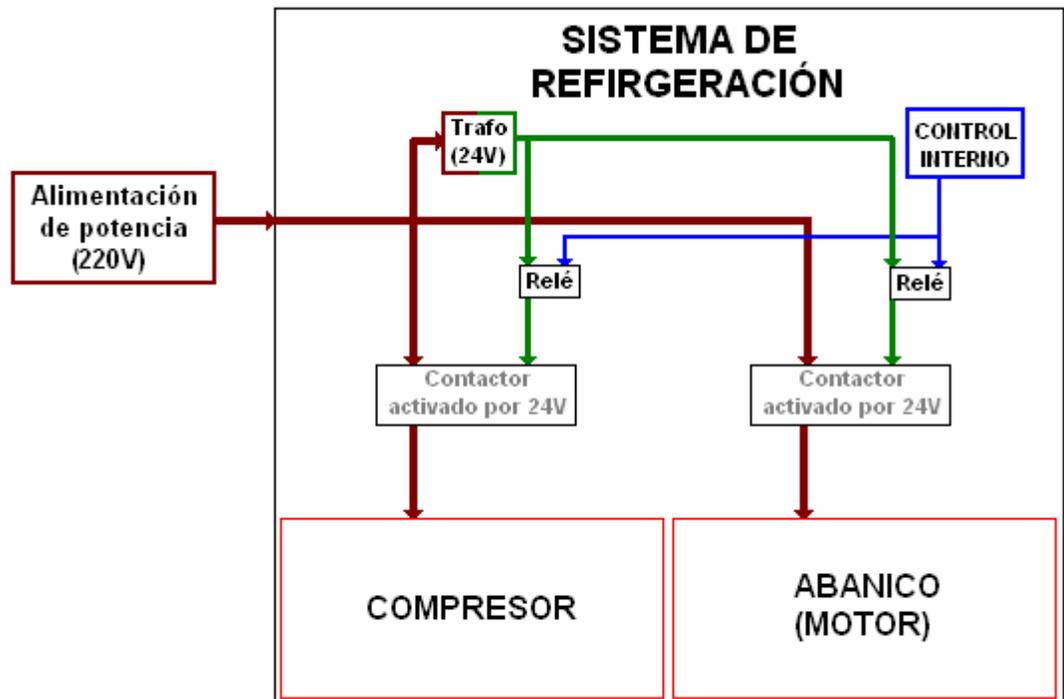


Figura 3-1 Funcionamiento básico modular de un equipo de refrigeración

Como se observa en la figura anterior, el sistema posee dos sub-sistemas que deben ser supervisados y hasta controlados, estos son el Compresor y el Abanico.

Actualmente el funcionamiento de estos sistemas es controlado por:

- Un termostato de mercurio, que funciona enviando una señal de control de 24 voltios de corriente alterna a los contactores a través de un relé, cuando en el lugar donde se encuentre instalado se supera una determinada temperatura.
- Simples interruptores que dan paso a los 24 voltios de los contactores o directamente los 220 voltios al equipo de refrigeración.

- Sistemas de control más complejos digitales que permiten controlar horas de trabajo, operar varios sistemas simultáneamente o inclusive generar alarmas.

Este tipo de controles no entregan información detallada de todas las variables involucradas durante el funcionamiento del sistema de climatización, por lo tanto se decidió que el prototipo del sistema supervisor debía llenar esta necesidad por medio de la obtención de diferentes magnitudes que se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3-1 Magnitudes Supervisadas

Magnitud	Cantidad de Sensores
Temperatura	4
Presión	2
Corriente	1
Voltaje	1

El sistema de supervisión es el responsable entonces de informar de manera constante sobre estas cuatro magnitudes y hasta en varias etapas de la operación del sistema de refrigeración como lo son el caso de la temperatura y la presión, de ser necesario.

Además como un punto adicional pero de suma importancia se cedió al sistema de supervisión la posibilidad de intervenir en el control del sistema de climatización con el fin de evitar daños en el mismo y también con la intención de efectuar pruebas de funcionamiento y de respuesta en temperatura del recinto ante la actividad o no del sistema de climatización.

Así por medio del sistema de supervisión además de obtener en tiempo real un listado de las magnitudes de las variables involucradas en el proceso de refrigeración se puede generar acciones preventivas que impidan la desactivación del sistema de climatización y consecuentemente la pérdida de la garantía en la estabilidad de temperatura para algún producto o servicio.

3.2 Principios relacionados con la solución del problema

3.2.1 Refrigeración por Compresión de Vapor

La próxima Figura muestra un ciclo de refrigeración básico de compresión de vapor.

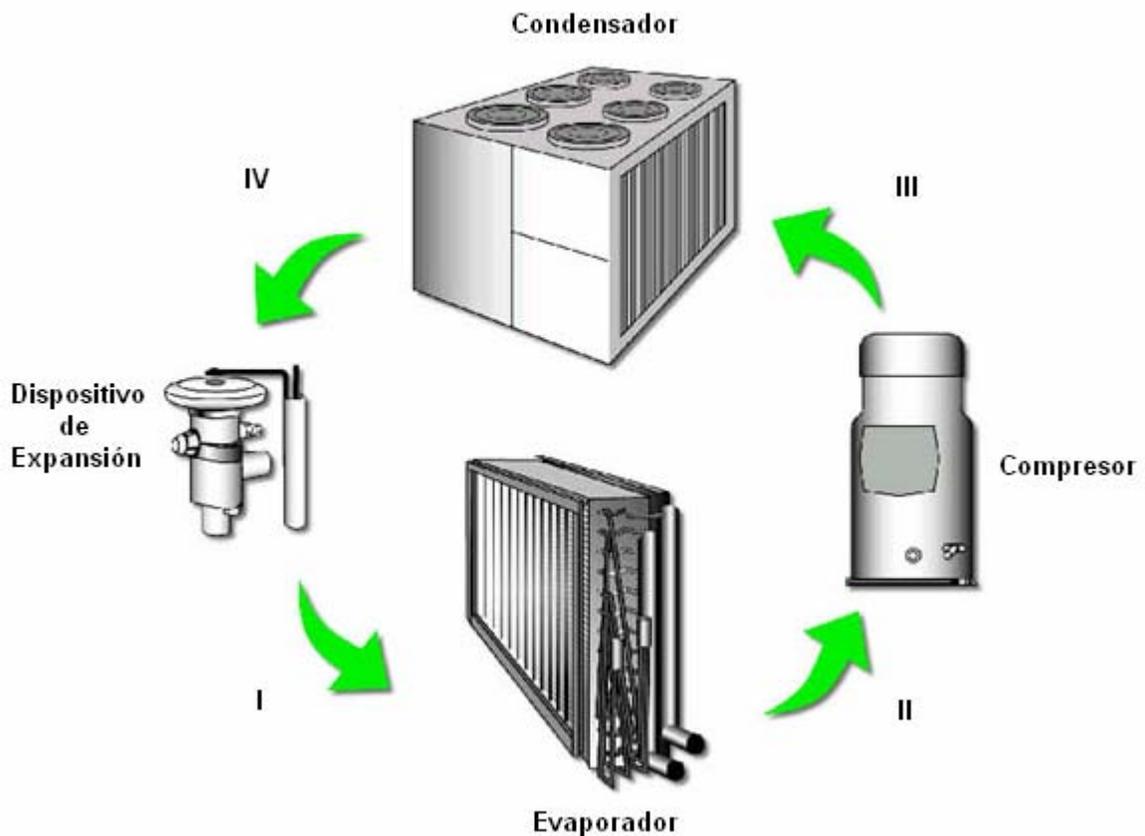


Figura 3-2 Ciclo de refrigeración básico

El refrigerante que entra al evaporador es una mezcla de líquido y vapor a bajas temperaturas (fría), y de baja presión (I). El calor del aire circundante que debe

ser enfriado, es transferido al refrigerante por lo que tal líquido refrigerante se evapora. El vapor refrigerante resultante (II) se bombea desde el evaporador por el compresor, lo cual aumenta la presión y la temperatura del vapor.

El vapor refrigerante se encuentra ahora caliente y con alta presión (III) se hace ingreso al condensador en donde el calor se disipa en el ambiente, ya que el aire ambiente está a menor temperatura que el vapor refrigerante. Dentro del condensador, como su nombre lo indica, el vapor refrigerante de alta temperatura se empieza a condensar en forma de líquido, mismo que se sub-enfría.

Este refrigerante líquido (IV) fluye desde el condensador hacia el dispositivo de expansión. Este dispositivo crea una caída de presión que reduce la presión del refrigerante a la presión del evaporador. A esta baja presión, una porción del refrigerante hierve o se evapora, disminuyendo de esta manera la temperatura del refrigerante líquido restante a la temperatura deseada del evaporador. La mezcla fría de líquido y vapor refrigerante (I) entra al evaporador para repetir el ciclo.

Este es el ciclo de refrigeración de compresión del vapor y sus cuatro componentes principales (evaporador, compresor, condensador, y dispositivo de expansión).

En la próxima figura se observa la interconexión de la tubería de refrigerante entre los componentes principales del sistema de refrigeración.

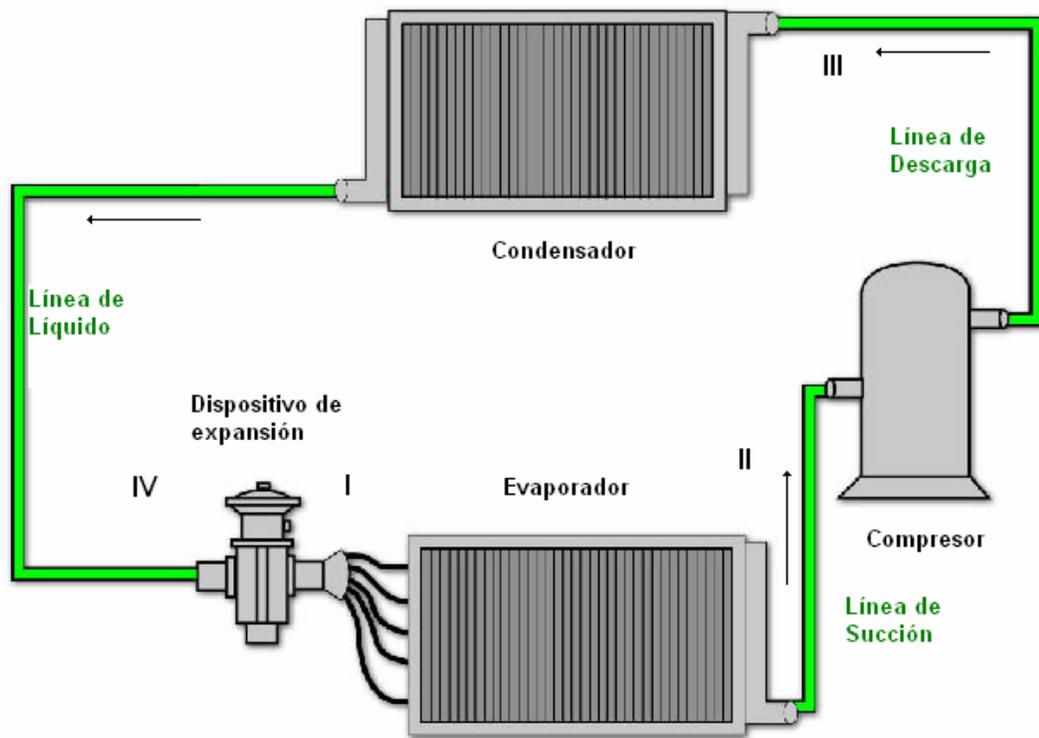


Figura 3-3 Interconexión de la tubería de refrigerante

Todos los componentes se interconectan por tubería refrigerante. El evaporador y compresor quedan interconectados por la línea de succión, la línea de descarga conecta el compresor al condensador y para cerrar el ciclo el condensador queda unido al dispositivo de expansión por la línea de líquido. El dispositivo de expansión se ubica normalmente al final de la línea de líquido, en la entrada del evaporador.

El diseño de la tubería de refrigerante es un proceso de suma importancia es mucho más que simple desplazamiento de refrigerante entre componentes. Aunque se elijan los componentes correctos para el sistema de refrigeración se pueden presentar problemas serios si la tubería se instala o diseña erróneamente.

3.2.2 Redes LAN y Ethernet

En la actualidad el Internet es fundamental en la comunicación mundial debido a la eficiencia y rapidez con la que puede transmitir información a distancias cercanas o inclusive muy lejanas.

El Internet es una red gigantesca de computadoras compuesta por muchísimas redes más pequeñas, estas redes más pequeñas se denominan “Redes de área Local” o LAN por sus siglas en inglés.

Las LAN se conforman primordialmente de dispositivos finales como lo son computadoras personales y dispositivos periféricos como impresoras o servidores, que para participar en la LAN deben de tener una tarjeta de interfaz de Red o “NIC” por sus siglas en inglés. Esta tarjeta es como una cédula de identidad para entrar en la red. También en una LAN entran en juego medios de red como lo son los interconectores y también dispositivos de red como CONCENTRADORES DE RED que son repetidores de información y Conmutadores de red que son repartidores inteligentes de información.

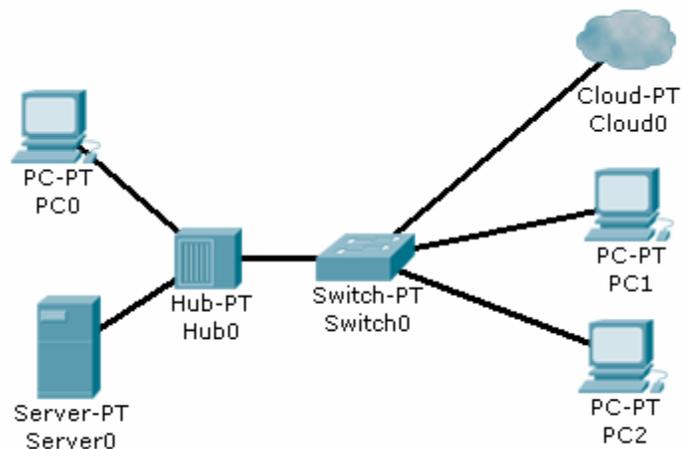


Figura 3-4 Una red LAN

En la figura anterior se muestra la topología de una LAN con dispositivos de red y dispositivos finales como una PC. Algo muy importante de rescatar de la figura anterior es la nube que se muestra, esta representa una posible conexión con otras redes, lo cual representa la escalabilidad de este tipo de redes, el fin de una LAN no es solo brindar conexión entre dispositivos de un solo recinto o edificio sino también estar preparada para comunicarse con otras LAN o redes más grandes como Internet.

Las LAN permiten el trasiego eficaz de datos para comunicaciones internas de empresas o instituciones que cuentan con muchos computadores y también se logra optimizar otros servicios como uso de impresoras y correo electrónico.

Las redes de área local poseen las siguientes características:

- Trabajan en áreas geográficamente limitadas
- Brindan conexión a dispositivos cercanos
- Proporcionan acceso a gran ancho de banda a sus usuarios
- Deben ofrecer conexión las 24 horas del día para las prestaciones locales.

Para establecer la comunicación en redes se crearon estándares para unificarlas, entre esos están por ejemplo el Modelo OSI que explica modularmente como se establece la comunicación entre redes y más aún entre dispositivos finales como computadores. El modelo OSI cuenta con 7 capas, que se muestran en la siguiente figura.

7	CAPA DE APLICACIÓN
6	CAPA DE PRESENTACIÓN
5	CAPA DE SESIÓN
4	CAPA DE TRANSPORTE
3	CAPA DE RED
2	CAPA DE ENLACE DE DATOS
1	CAPA FÍSICA

Figura 3-5 Capas del Modelo OSI

Cada una de estas capas tiene sus propias funciones en el proceso de comunicación en redes de computadores, se exponen brevemente a continuación:

- Capa física (1): en esta capa se especifican características eléctricas, físicas y mecánicas de la conexión entre dispositivos.
- Capa de enlace (2): esta capa se encarga de direccionamiento físico, en esta capa se requiere procesamiento para controlar el flujo e identificadores de dispositivos tipo MAC (Media Access Control) por sus siglas en inglés. La dirección MAC es como una cédula de identidad a nivel de la LAN.
- Capa de red (3): encargada del enrutamiento, es decir selección de la ruta que debe tomar un paquete para ir de una red a otra.
- Capa de transporte (4): es la encargada de armar y desarmar los datos luego de recibirlos o enviarlos. Esta capa es la encargada de crear circuitos virtuales de comunicación.

- Capa de Sesión (5): esta capa se encarga de establecer sesiones entre 2 dispositivos finales (PC), una vez establecidas esta capa se responsabiliza de administrar y finalizar las sesiones.
- Capa de presentación (6): aquí se revisa que la información pueda ser legible por la capa de aplicación, en esta capa se produce cifrado y descifrado de información para poder presentar correctamente los archivos recibidos.
- Capa de Aplicación (7): esta es la capa de mayor interacción con el usuario, en esta capa se encuentran las aplicaciones más comunes como los programas procesadores de texto, también en esta capa se encuentran aplicaciones muy importantes en la configuración de redes como lo es el TELNET (acceso a una máquina remota mediante una red).

Como parte integral del funcionamiento de las LAN se debe definir el concepto de Ethernet. Durante el desarrollo de las redes se observó la necesidad de permitir a dos usuarios o más utilizar el mismo medio físico para comunicarse sin el inconveniente de la interferencia de uno con el otro. Por este motivo fue creado el Ethernet que se conoce como acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD) por sus siglas en inglés.

Ethernet alcanza la capa 2 del modelo OSI y es actualmente un estándar para las LAN que se ha mejorado en varias ocasiones desde su creación pero siempre mantiene sus características originales.

Las normas de las LAN definen normas para capa 1, lo que respecta a medios y conectores y también normas para capa 2 que es lo que respecta a las reglas a

seguir para el control de tráfico y encapsulamiento y es hasta donde llega Ethernet. Para hacer un mejor análisis la capa 2 del modelo OSI fue dividida por la IEEE en 2 subcapas.

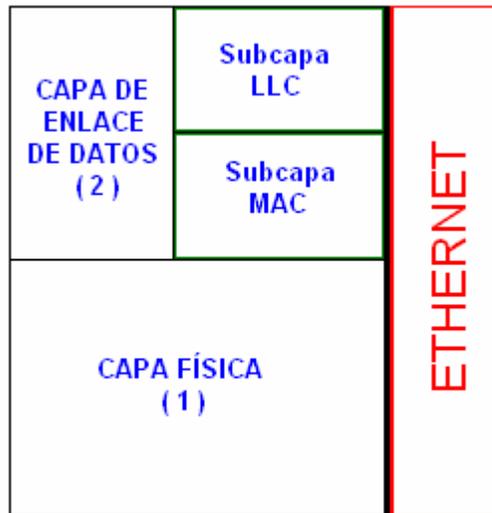


Figura 3-6 Ethernet en el Modelo OSI

La subcapa MAC es la responsable de control de acceso al medio, aquí se establece de que manera se transmiten los datos en el medio físico (capa 1). En esta subcapa se trabaja con las direcciones MAC o “cédulas de identidad” de capa 2.

En la capa LLC o de control de estado lógico se realiza la identificación de varios protocolos y la encapsulación de los mismos. En la actualidad las LAN son basadas en gran cantidad en el estándar TCP/IP.

TCP/IP es un grupo de protocolos creados para establecer cooperación entre computadoras de una red, algo de suma importancia es que un computador debe estar ejecutando TCP/IP para entrar a Internet.

3.2.3 Lenguaje de programación C# .net:

Este lenguaje fue creado recientemente y es basado en los lenguajes C y C++ que fueron elaborados hace más de treinta años. C # nació por la necesidad de desarrollar más complejas y sofisticadas aplicaciones gráficas, páginas WEB y componentes; este lenguaje fue elaborado por Microsoft para satisfacer esas necesidades.

En sus inicios C# fue visto de mala manera por algunos programadores, ya que se pensaba que se iba a requerir aprender un nuevo lenguaje, sin embargo como este lenguaje es basado en C++ el proceso de transición no es tan pesado.

Cuando se creó C# la idea era que cualquier persona que supiera programar en C++, JAVA o C no tuviese inconvenientes. La idea de basar C# en C++ fue fundamentada en el hecho de que C++ es el lenguaje orientado a objetos más utilizado.

Cuando Microsoft creó este lenguaje el objetivo era crear un lenguaje orientado a componentes, estilo Visual Basic, pero con la potencia que brinda C++ y sin los procesos complejos de C. En C# los servicios se ofrecen en una plataforma llamada Microsoft.NET y estos servicios se ofrecen en forma de componentes.

El lenguaje C# está orientado al trabajo con componentes pero que utiliza la mayoría de operadores y estructuras del lenguaje C++.

La programación orientada a componentes se define como la posibilidad de contar con construcciones sintácticas nativas para tareas como definición,

implementación y también uso de propiedades, eventos y métodos cosa que no se puede realizar en C++.

Capítulo 4 : Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

4.1.1 Generalidades

Los sistemas de enfriamiento son cada día más utilizados. En nuestro país la industria crece día a día al igual que la población. Muchos productos industriales necesitan climatización para mantener sus propiedades.

Los costarricenses compran unidades de aire acondicionado cada vez con más frecuencia para sus hogares u oficinas para generar un ambiente más placentero en cualquiera de estos recintos, en muchos rincones de nuestro país se ha vuelto casi una necesidad poseer un aire acondicionado debido a las condiciones climáticas que debido al efecto invernadero, ha generado condiciones más húmedas y calientes.

Los servicios que están en manos de equipo electrónico o eléctrico tienen una dependencia directa con la temperatura de operación de los últimos. En ocasiones la temperatura ambiente de donde se ubiquen los equipos permite su operación normal, sin embargo algunos equipos electrónicos se ubican en recintos cerrados que no permiten la radiación del calor que emiten los circuitos. Los equipos de refrigeración pueden garantizar la estabilización de la temperatura en recintos cerrados a pesar de la existencia de equipos emisores de calor.

En el caso del servicio de telefonía celular, mantener una temperatura en un rango específico es fundamental para evitar que los equipos se dañen o que paren de trabajar. Por lo tanto es igualmente necesario garantizar que el sistema de refrigeración este siempre trabajando por lo cual se ha vuelto necesario supervisar su operación, a través de la obtención de información de sus variables fundamentales, en tiempo real.

4.1.2 Descripción Sintética del Problema

Actualmente, no se cuenta con un monitoreo de los sistemas de Climatización y Refrigeración que garantice la vigilancia en tiempo real durante las 24 horas el día.

4.2 *Obtención y análisis de información*

El análisis de la información se realizó con algunas variaciones del planeamiento de las actividades en el cronograma de trabajo establecido.

La información fue obtenida de manera modular con el fin de mantener independencia entre etapas del proyecto, esto fue lo que permitió el continuo avance a pesar de posponer ciertas etapas en relación al planeamiento inicial.

Como el diseño de la solución involucra aspectos diversos desde una investigación para conocer acerca de las tecnologías refrigeración, estudio y elección de sensores, hasta llegar al diseño de rutinas para un PIC encargado del manejo del proceso de supervisión; el análisis de la información se realizó de acuerdo a los requerimientos de diseño que se establecían en cada una de las etapas de diseño.

El conocer de forma general el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento fue una de las actividades fundamentales para orientar el proyecto, para esto fue muy importante la contribución de los funcionarios de la empresa COOLTECH.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

La solución expuesta en el capítulo 5 de este documento nació a partir de la evolución de una idea que llegará a satisfacer una necesidad. Durante el bosquejo del proyecto por parte del Ing. Gustavo Madrigal ya se tenía una idea concisa de cual sería la posible solución y de la mayoría de los aspectos que esta abarca, sin embargo fue necesario desarrollar muy bien el concepto y con esto planear el diseño más apto.

La solución desarrollada no afecta el funcionamiento normal del sistema de refrigeración, a menos que se desee apagarlo o encenderlo remotamente, esto debido a que el control del sistema de supervisión sobre el sistema de refrigeración es por defecto inactivo. El sistema de vigilancia tiene la capacidad de mantener informados a los técnicos de refrigeración que visiten el lugar donde se encuentre ubicado a través de una pantalla, además se cuenta con comunicación a través de una red lo cual permite la revisión constante de la operación del equipo de enfriamiento.

4.4 Implementación de la solución

El sistema creado fue evaluado de forma completa por etapas y conjuntamente. Una vez que el tuvo el sistema total se probó por lapsos de 1 a 2 horas con el fin de comprobar el funcionamiento correcto del mismo y también con la intención de cambiar características del sistema de climatización y así comprobar que fueran correctamente detectadas y registradas.

Para la ejecución de las pruebas se utilizaron las señales de una unidad de refrigeración que se ubica en las instalaciones de la empresa.

Debido a que esta unidad de refrigeración no es de las dimensiones ni capacidades máximas para las que fue diseñado el sistema de supervisión se probaron previamente algunos sensores con elementos externos que garantizan su funcionamiento.

La elaboración de estas pruebas fue primordial para anticipar posibles problemas cuando el sistema fuera ensamblado en el campo debido a que si se presentaba algún inconveniente fuera posible examinar el problema y plantear la forma de solucionarlo. No obstante, a lo largo del período de pruebas el sistema trabajó según los objetivos planteados con lo cual se pudo constatar que el diseño fue exitoso.

4.5 Reevaluación y rediseño

Es importante recalcar que en el transcurso del desarrollo del presente proyecto algunos de los sensores fueron adquiridos en el extranjero lo cual produjo la necesidad de segmentar el diseño por módulos así como replantear y rediseñar ciertas etapas hasta el momento que se contó con los componentes necesarios para efectuar las pruebas respectivas.

El modulo principal del proyecto se desarrollo a través del uso del microcontrolador del tipo PIC 18F4680.

Para futuros procesos de reevaluación y rediseño se podría estudiar la posibilidad de utilizar otros tipos de sensores, especialmente si son digitales. Con base en el funcionamiento actual del sistema y las necesidades de los usuarios del mismo se podría actualizar el menú de despliegue (visualización). Si se producen más sistemas similares, es recomendable investigar sobre conectores en el extranjero que garanticen aún más la seguridad y funcionamiento del sistema, también la estética.

Capítulo 5 : Descripción detallada de la solución

5.1 *Análisis de soluciones y selección final*

5.1.1 Generalidades

Este sistema de supervisión cuenta con dos partes principales, el módulo principal o de hardware y el software de recepción de datos y control de pruebas. Es sumamente importante tomar en cuenta que el diseño modular permitió la ejecución con cierta independencia de diferentes etapas del sistema que se expondrán a lo largo de este capítulo.

Para elaborar ambas etapas principales del sistema prototipo fue necesario investigar el funcionamiento de los equipos de refrigeración que podrían ser vigilados, además se realizaron visitas a localidades que cuentan con sistemas de climatización controlados con el fin de observar el proceso y aprender detalles que deben ser tomados en cuenta para la operación y control de los sistemas de enfriamiento.

5.1.2 Microcontrolador

Los objetivos de este sistema deben ser completados con la menor cantidad de hardware, al menor costo y tratando de independizar el funcionamiento de todos los módulos. En lo que respecta al microcontrolador se estudiaron varias opciones tomando en cuenta lo citado anteriormente:

Tabla 5-1 Microcontroladores y características

	PIC16F877A	PIC18F4680	PIC18F67J60
Diagrama de Pines			
Memoria de Programa	8KB	64KB	128KB
Memoria de datos	368B	3328B	64KB
Canales del ADC	8	11	11
Pines para entrada/salida	35	36	39
Encapsulado	40-Pines PDIP	40-Pines PDIP	64-Pines TQFP
Comunicación Ethernet	No	No	Si
Comunicación Serial	Si	Si	Si
Costo	\$12	\$22	\$35

Para la selección de alguno de estos controladores del fabricante Microchip, se tomó en cuenta que cumplieran con los siguientes requisitos básicos de hardware:

1. 8 canales disponibles para el ADC
2. Al menos 10 pines para el manejo del LCD
3. Dos pines para control
4. De 4 a 6 pines para agregar interruptores de control
5. Capacidad de ser programados constantemente con un programador de puerto de serie
6. Memoria suficiente para correr el programa implementado para la supervisión de sistemas de refrigeración.

Ventajas de utilizar el PIC16F877A:

- Cumple con los requerimientos de puertos para el ADC, LCD, interruptores y control
- Puede ser programado por el programador serie disponible
- Es bastante económico

Desventajas de utilizar el PIC16F877A:

- No posee una memoria lo suficientemente grande como para ejecutar el programa de supervisión.

Ventajas de utilizar el PIC18F4680:

- Cumple con los requerimientos de puertos para el ADC, LCD, interruptores y control
- Puede ser programado por el programador serial disponible
- Es bastante económico
- Posee una memoria lo suficientemente grande como para ejecutar el programa de supervisión.

Desventajas de utilizar el PIC18F4680:

- No es tan económico como el PIC16F877A

Ventajas de utilizar el PIC18F67J60:

- Cumple con los requerimientos de puertos para el ADC, LCD, interruptores y control
- Posee puerto para comunicación vía ethernet
- Posee una memoria lo suficientemente grande como para ejecutar el programa de supervisión

Desventajas de utilizar el PIC18F67J60:

- Es el menos económico
- No puede programarse con el programador serie disponible

Por las razones expuestas anteriormente el microcontrolador elegido fue el PIC18F4680, este cuenta con las características deseadas y a pesar de no ser el más económico, su precio es bastante accesible. Este PIC no posee puerto ethernet, por lo cual, se hace uso de una tarjeta (serial-to-ethernet).

5.1.3 Módulo serie-ethernet

Para comunicar el PIC18F4680 con una red externa de tipo (LAN) se hace necesario un módulo que sea capaz de recibir información en el protocolo EIA-TIA-232 y adaptarlo a Ethernet; también realizar el proceso contrario, tomar datos desde la red y convertirlos al lenguaje serie que el PIC entiende. Para la selección de este módulo fueron definidos como fundamentales los siguientes requerimientos:

1. Costo menor a los \$100
2. Facilidad en la configuración
3. Voltaje de alimentación de 5V o 12V
4. Interfaz TTL para conectar al microcontrolador directamente
5. Capacidad de usar el protocolo DHCP
6. Construcción física sólida y no muy reducida

Se analizaron con mucho detalle las siguientes opciones:

Tabla 5-2 Características de módulos serial-to-ethernet

	Micro 100 de LanTronix	SB 70 de Netburner	SB 72 de Netburner
Imagen			
Velocidad	10/100 Mbps	10/100 Mbps	10/100 Mbps
Tensión de Alimentación	5V	5V	5V
Costo	\$77	\$79	\$139
DHCP	Si	Si	Si
Interfaz TTL	Si	Si	Si

Para este caso no se especifican las ventajas de uno u otro módulo ya que los tres pueden efectuar la misma tarea y cumplen con los requisitos expuestos anteriormente, con la excepción del costo del módulo SB72 que tiene un valor de

\$139 y realiza las mismas funciones que el circuito SB70 con la diferencia de que el SB72 puede trabajar con la interfaz RS485/422 que no es utilizada en este sistema.

La eligió el módulo SB70 porque, a pesar de ser un poco más costoso, se tuvo la oportunidad de trabajar con él antes de ensamblar el sistema de supervisión y se pudo constatar su correcto funcionamiento con microcontroladores PIC.

5.1.4 Sensores de Temperatura

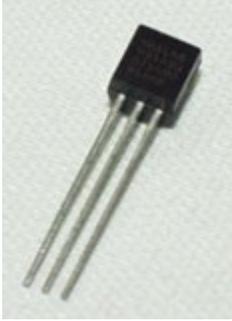
El sistema debe de contar con sensores de temperatura. Esta magnitud debe ser capturada cerca del evaporador del sistema de refrigeración como también en el recinto en el cual se esta aplicando el enfriamiento. Por esta razón se definió que el sistema contara con 4 sensores de temperatura.

Para este sistema prototipo los sensores de temperatura deben de cumplir los siguientes lineamientos:

1. Minimizar al máximo el costo
2. Brindar una lectura confiable
3. Contar con salida analógica para poder funcionar en el recorrido cíclico que realiza el PIC a través de su ADC en el puerto asignado a cada sensor
4. Rango de medición 0°C a 100°C

Existen diferentes tipos de sensores de temperatura, se analizaron 3 tipos de sensores de temperatura, estos se exponen a continuación.

Tabla 5-3 Sensores de Temperatura

	DS18S20	LM35	Termocupla (tipo J)
Imagen			
Rango de medición	-55 °C a 125 °C	-55 °C a 150 °C	-55 °C a 999 °C
Pasivo	No	No	Si
Analógico	No	Si	Si
Lineal	Si	Si	No
Costo	\$9	\$5,6	\$13
Exactitud	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$

Ventajas de utilizar el DS18S20:

- Garantiza lectura estable por su naturaleza digital
- Posee un buen rango de lectura

- Es pequeño lo cual permite su fácil ubicación

Desventajas de utilizar el DS18S20:

- Es digital, lo cual requeriría un tratamiento especial para la lectura de datos con respecto a los otros sensores
- La exactitud no es la deseada

Ventajas de utilizar el LM35:

- Es económico
- Es lineal con una resolución de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
- Su rango de lectura es bueno

Desventajas de utilizar el LM35:

- La señal debe ser amplificada antes de ser procesada por el ADC del PIC para obtener mayor resolución

Ventajas de utilizar la termocupla:

- Es un producto relativamente fácil de conseguir en el mercado nacional.
- Por ser pasivo, hay menos peligro al exponerla a la intemperie

Desventajas de utilizar la termocupla:

- No es lineal, necesitaría una amplificación específica
- No es tan económica

Por las razones expuestas anteriormente se eligió el sensor de temperatura LM35, debido a su linealidad y a su precio. La señal que produce este sensor es posteriormente amplificada para mejorar la lectura que hace el PIC.

5.1.5 Sensor de Corriente

Es muy importante que la corriente sea capturada constantemente, con el fin de obtener información sobre picos de corriente y también para hacer proyecciones del consumo eléctrico, así como del ciclo de trabajo que el sistema de refrigeración esta realizando. EL sensor de corriente debe de cumplir al menos con los siguientes requisitos:

- Alimentación de $\pm 5\text{VCD}$ o $\pm 12\text{VCD}$
- Rango de medición de (0A - 100A)RMS
- Capacidad de leer corriente a una frecuencia de 60Hz
- Aislamiento total de la corriente medida con respecto al circuito de medición (supervisión)

Los sensores estudiados con más detenimiento para esta tarea son ambos del fabricante (Tamura), los dos cumplen con los todos los requisitos y ambos tienen

un valor de \$15,7 en EE.UU. y aproximadamente \$ 25 ya en Costa Rica. Estos sensores operan por medio del efecto Hall, es decir a la salida de los sensores se genera una señal de la misma forma que la de la corriente que atraviesa el sensor con una relación de $4V_{RMS}$ de salida si pasan $100A_{RMS}$ por el cable que pasa en medio del sensor.

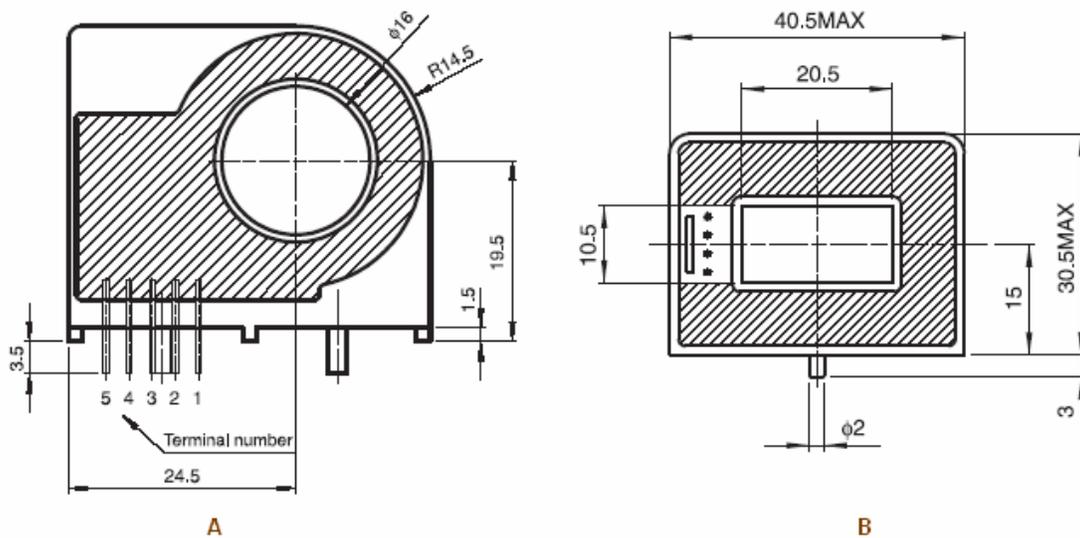


Figura 5-1 Sensores de corriente

El sensor A de la figura anterior es el modelo L08P100D15 y el sensor B es el L03S100D15.

Se utilizó el sensor L08P100D15 tomando en cuenta el factor físico que diferencia a ambos sensores, como se puede observar en la figura anterior, el primer sensor puede ser cruzado por un cable de hasta 16mm de diámetro, mientras que el sensor L03S100D15 esta limitado en este aspecto a 10,5mm.

5.1.6 Sensor de Presión

El caso de este sensor fue especial, ya que el costo de un sensor de presión es elevado, entre los \$105 y \$125, se decidió por utilizar unos sensores de presión disponibles en la empresa que cumplen con los requerimientos básicos para la supervisión de presión que son los siguientes:

- Medición de 0 a 500PSI
- Salida Lineal
- Precisión mayor o igual al 1%
- Alimentación de 5VCD o 12VCD

El sensor que se usa es el modelo MSP 300 (ver anexo B.4) puede medir de 0 a 500PSI, su salida es lineal, la precisión es mayor o igual al 1%, la alimentación es de 5VCD. Para el acondicionamiento de estos sensores fue necesaria la implementación de amplificadores diferenciales.



Figura 5-2 Sensores de presión

5.2 *Diseño de la solución implementada*

5.2.1 Lectura de Magnitudes

El sistema de supervisión comienza por medio de la interpretación de magnitudes eléctricas entregadas por los sensores. Todos los sensores son analógicos por lo cual se hizo necesario acondicionar las señales a valores entre 0V y 5V y usar el Convertidor Analógico Digital que posee el PIC.

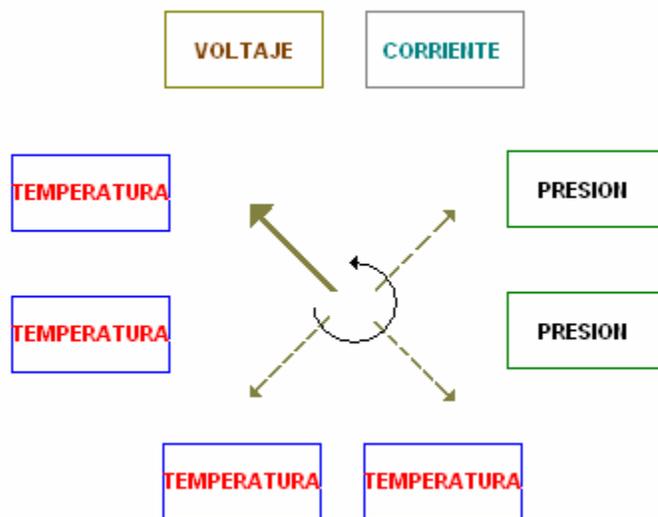


Figura 5-3 Recorrido cíclico de sensores

En el sistema desarrollado se implementó un recorrido cíclico de los sensores a través de las múltiples entradas que pueden ser utilizadas como entradas analógicas en el PIC. El PIC solo posee un convertidor analógico-digital, pero tiene un multiplexor analógico que permite tomar un dato analógico de diferentes terminales del microcontrolador. Los sensores siempre se leen en la manera que se muestra en la figura anterior, primero los 4 sensores de temperatura, luego los 2 sensores de presión, seguidamente el sensor de corriente y por último el sensor de voltaje, luego se repite el ciclo.

Este tipo de lectura cíclica permite una lectura ordenada en cada uno de los sensores y además simplificó bastante el algoritmo de adquisición de datos.

5.2.2 Control Principal

El control principal es ejecutado por el PIC. Este control se hace cargo de varios procesos que se muestran en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 5-4 Funciones ejecutadas por el control Principal

Función	
1	Lectura de magnitudes en los sensores
2	Despliegue de Magnitudes (LCD)
3	Despliegue de Alarmas (LCD)
4	Activación y/o ejecución de acciones preventivas o de prueba.
5	Envío de Datos con magnitudes y estado de control
6	Recepción de datos del software de control y pruebas
7	Ajuste de Referencia de Sensores
8	Ajuste de Calibración de Sensores

Es claro que son varias las funciones y fueron organizadas de tal manera que todas pudieran ser ejecutadas según la necesidad o requerimiento impuesto por los futuros usuarios de este sistema, en la siguiente figura se puede observar como el sistema atiende todas estas funciones.

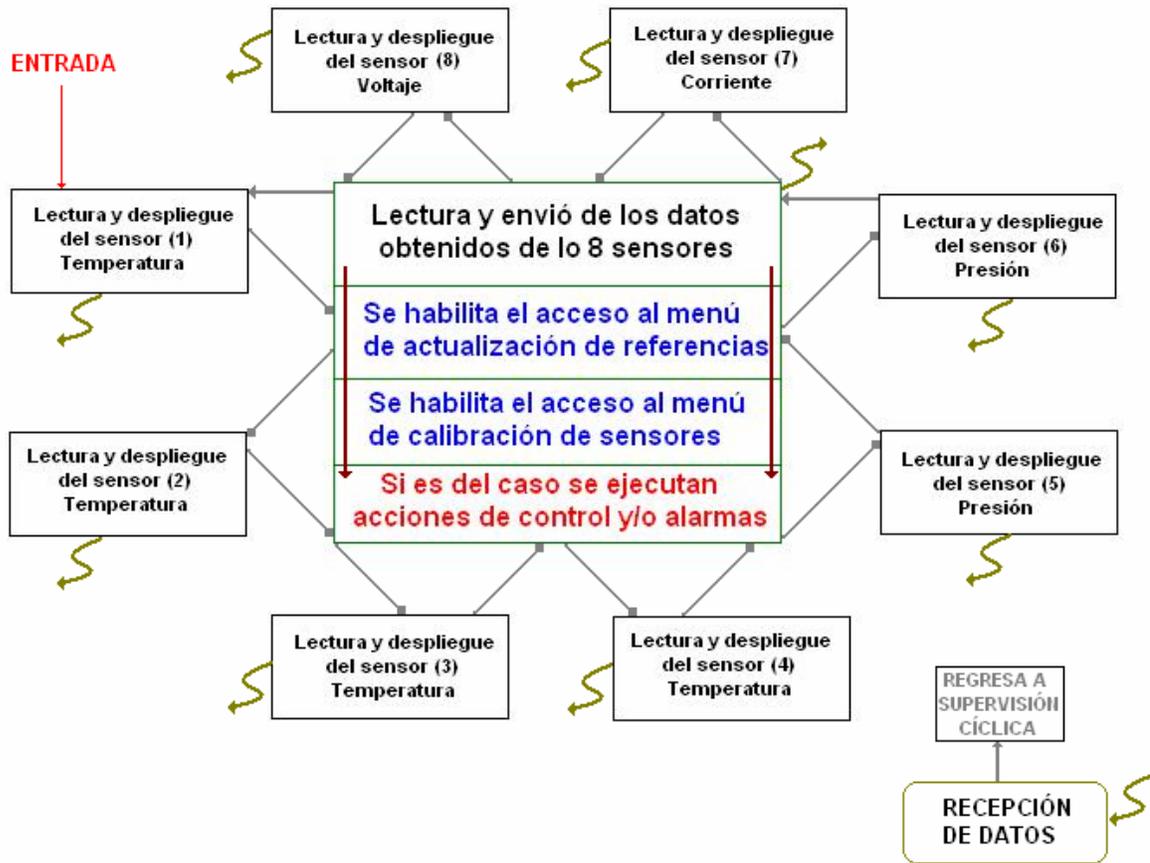


Figura 5-4 Diagrama de ejecución de funciones.

En la figura superior se demuestra un diagrama de alto nivel del funcionamiento del control principal. Este trabaja leyendo y desplegando en el LCD la magnitud de cada sensor cada 2 segundos y antes de avanzar al despliegue del próximo sensor, se hace una lectura de todos los sensores y esos valores son enviados al software de recepción y almacenamiento de datos. Una vez enviados los datos se examina si se debe realizar algún tipo de control preventivo o de pruebas ordenadas desde el software, entonces concluido este proceso se avanza al despliegue del próximo sensor y se repite todo de nuevo.

La recepción de datos desde el software puede ser accesada en cualquier momento lo cual la hace un proceso asíncrono en el engranaje total del sistema por

lo cual fue necesario darle un trato especial y atender este asunto con una interrupción, por lo cual el programa principal se pausa en el momento en que se recibe un dato para capturarlo y procesarlo, seguidamente se continúa con la ejecución cíclica de vigilancia.

5.2.3 Diseño del Protocolo de Comunicación

Parte fundamental de este sistema es la comunicación, para lo cual se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- **Confiabilidad:** para garantizar la entrega y recepción veraz de los datos.
- **Simplicidad:** para hacer el proceso y comunicación lo más rápido y efectivo posible.

El protocolo diseñado es generado por el PIC, en el caso de la información del estado del sistema, o generado por el software, para el caso la ejecución de pruebas.

El protocolo implementado desde el PIC se envía por medio del protocolo EIA-TIA-232 (serie) que el controlador posee predefinido; entonces se diseñó un mensaje con ciertos lineamientos que llevan la información de todos los sensores y el estado de control que esta ejecutando el sistema.

El mensaje que compone al protocolo está organizada de la siguiente manera:

1	2	3	4	5	6	7	8	19	20	21	22	23	24	25	26	27
CT,	S0,	9.1,	18,	S1,	8.6,	30,	S2,		200,	S6,	9.2,	10,	S7,	0.0,	24,	8,	001

Figura 5-5 Mensaje de comunicación emitida por el microcontrolador

En la figura anterior se observa como está constituida el mensaje Está compuesta por 27 campos que se clasifican en 6 tipos de datos. En la parte superior de la figura se denota el número de cada casilla de datos y en la siguiente tabla se detalla sobre cada campo del mensaje.

Tabla 5-5 Composición del mensaje de comunicación

Tipo	Función	Casilla	Información Adicional
1	Identificador de la empresa	1	CT por COOLTECH S.A.
2	Código del cliente	27	001, en este caso primer cliente
3	Identificador de sensor	2,5,8,11,14,17,20,23	Identifica a cada sensor
4	Magnitud leída desde un sensor	3,6,9,12,15,18,21,24	Se agrega seguidamente del identificador de sensor
5	Referencia (magnitud deseada) en un determinado sensor	4,7,10,13,16,19,22,25	Se agrega seguidamente de la magnitud capturada por el sensor
6	Información de control	26	El número de esta casilla lleva codificado el estado de control

Tanto en la figura como en la tabla anterior se muestra el funcionamiento del mensaje de comunicación; en la figura 5-5, se observa en las casilla 1 la identificación de la empresa que brinda el servicio que es COOLTECH S.A y en la última casilla, la 27, se especifica el número de cliente.

Lo más importante en este mensaje son los identificadores de cada uno de los datos y el orden en que son enviados. Así se implementó un mensaje sencilla pero con todo lo necesario para mantener al sistema de refrigeración supervisado efectivamente. Obsérvese en la figura 5-5 que en el mensaje envía por cada sensor un identificador, la magnitud capturada y un punto de referencia establecido por el personal técnico encargo de los equipos de refrigeración. Es de suma importancia notar la casilla 26, en esta casilla se ubica un número al que se le asignan diferentes valores para “codificar” los posibles estados de control que el sistema supervisor esta ejerciendo, en la siguiente tabla se detallan los posibles casos.

Tabla 5-6 Valores del mensaje de control

Estado Equipo 1 (Compresor)	Estado Equipo 2 (Abanico)	Mensaje de control (binario) casilla 26	Mensaje de control (decimal) casilla 26
Activo (local)	Activo (local)	0000 0000	0
Inactivo (local)	Activo (local)	0000 0001	1
Activo (remoto)	Activo (local)	0000 0010	2
Inactivo(remoto)	Activo (local)	0000 0011	3
Activo (local)	Inactivo (local)	0000 0100	4
Inactivo (local)	Inactivo (local)	0000 0101	5
Activo (remoto)	Inactivo (local)	0000 0110	6
Inactivo(remoto)	Inactivo (local)	0000 0111	7
Activo (local)	Activo (remoto)	0000 1000	8
Inactivo (local)	Activo (remoto)	0000 1001	9
Activo (remoto)	Activo (remoto)	0000 1010	10
Inactivo(remoto)	Activo (remoto)	0000 1011	11
Activo (local)	Inactivo(remoto)	0000 1100	12
Inactivo (local)	Inactivo(remoto)	0000 1101	13
Activo (remoto)	Inactivo(remoto)	0000 1110	14
Inactivo(remoto)	Inactivo(remoto)	0000 1111	15

En la tabla anterior se observa los diferentes casos de control que pueden presentarse, y además el número correspondiente que se eligió para representar ese determinado caso. Como punto primordial para diseñar el mensaje de control se antepuso el factor de simplicidad, lo cual queda manifestado en que en una sola casilla (26) puede representarse 16 diferentes estados de control.

Ahora, el sistema puede realizar pruebas remotas tal como lo muestra la tabla anterior. Esas pruebas se realizan desde un computador que posee el software específico de este sistema de supervisión. Este software que es descrito con más detalle más adelante en este capítulo, se encarga de comunicarle al sistema de supervisión que es necesario ejecutar alguna prueba específica; esto se hace por medio del envío de caracteres que tienen un determinado significado. En la interfaz del software esto se hace por medio de botones que envían esos caracteres codificados y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5-7 Códigos para ejecución de pruebas

Mensaje	Función
"r"	Deshabilita el control desde el software, el control vuelve al sistema supervisor local
"e1e"	Habilita el equipo 1 (compresor) remotamente
"e1a"	Deshabilita el equipo 1 (compresor) remotamente
"e2e"	Habilita el equipo 2 (abanico) remotamente
"e2a"	Deshabilita el equipo 2 (abanico) remotamente

5.2.4 Diseño del software

El software de control se diseño también de manera modular, se creó de tal manera que cada sensor fuera tratado como un objeto, y cada uno de estos objetos se obtiene del mensaje de comunicación.

El programa de recepción de datos debe tener las siguientes características:

- Conexión a Ethernet
- Despliegue de datos recibidos
- Envío de datos al sistema remoto para ejecutar pruebas
- Almacenamiento ordenado de los datos recibidos

El programa fue desarrollado en C#.NET por las siguientes razones:

- Facilidad y variedad de herramientas para la creación de interfaces gráficas.
- Diversidad de utilitarios para la comunicación con diferentes puertos de las PC (sockets)
- Similitud en la sintaxis de lenguaje PICC ya que ambos son basados en el lenguaje C.

5.3 Descripción del hardware

5.3.1 Fuente de Alimentación

La tarea de la fuente de alimentación es transformar la tensión de línea de 110V a 120V AC en una tensión de corriente directa con la que se alimentan la tarjeta principal, los sensores, el módulo (serial-to-ethernet) o tarjeta de red y LCD. Esta tensión de corriente directa cumple con los requerimientos de voltaje y corriente de todos los componentes trabajando al mismo tiempo.

Para el diseño de la fuente se utilizaron los siguientes componentes:

1. Transformador

Se utilizó un transformador de 110V a 24V con derivación central, 12V en cada derivación y con una corriente salida de 3A. El consumo máximo se va a presentar en el momento en que se usen todos los sensores y este en funcionamiento el módulo de interfaz de ethernet. En ese momento el consumo es menor a 1A para el voltaje positivo y menor a 200mA para voltaje negativo y se decidió utilizar un transformador un poco más grande para garantizar un funcionamiento seguro y por si se desea realizar algún cambio en el futuro.

2. Puente rectificador y filtro

Se utilizó un puente rectificador de 4A y 200V y como filtro se emplearon capacitores electrolíticos de 3300uF y 50V, alta capacitancia para reducir el voltaje de rizo.

3. Reguladores de tensión

Se utilizaron estos reguladores para obtener tensiones estables que garanticen el buen funcionamiento de los demás componentes especialmente los Microchips.

Se utilizó un regulador 7812 para generar 12V de corriente directa para alimentar al sensor de corriente, los amplificadores operacionales, las bobinas de los relés de control y de su salida se conectó en cascada un 7805 que se utiliza para generar 5V de corriente directa que alimenta a los sensores de corriente, los sensores de presión, el PIC y el LCD.

Fue necesario obtener una tensión negativa para alimentar al sensor de corriente y los amplificadores operacionales; por lo tanto, se empleó un 7912 para generar -12V de corriente directa.

La corriente que consumen los sensores de temperatura es de 1mA máximo, o sea, 4mA en total. Los sensores de presión consumen 10mA máximo o sea 20mA en total; el de corriente 12mA. Para el PIC se encontró un consumo máximo de 60mA; el LCD consume 220mA; el módulo de comunicación consume 500mA en máximo, aunque experimentalmente nunca sobrepasó los 200mA. Por último, los operacionales consumen máximo 50mA y son 3, 150mA máximo.

Es decir en el peor de los casos el sistema consume 956mA, y tomando en cuenta la capacidad del transformador y que cada regulador puede entregar 1A, se

puede corroborar el diseño holgado de la fuente de alimentación para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

La potencia se define por la siguiente ecuación:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Los sensores de temperatura, los de presión, el PIC, el LCD y el módulo de comunicación se alimentan de 5v por lo tanto:

$$P = 5V \times (4 + 20 + 60 + 220 + 500)mA = 4.02W$$

Los operacionales de la etapa de acondicionador de señales de corriente y presión utilizan +12V y -12V y cada uno consumiría máximo 30mA, por lo tanto:

$$P = 24V \times (30 + 30)mA = 1,44W$$

Los operacionales de la etapa de acondicionador de señales de temperatura usan +12V consumiría máximo 50mA, las bobinas de los relays también usan +12V y consumen máximo 33mA cada uno:

$$P = 12V \times (50 + 33 + 33)mA = 1,392W$$

Sumando se obtiene que la potencia total en el peor de los casos sería la suma de las 3 expresadas anteriormente lo cual es igual a 6,852W.

4. Diodo de protección del regulador de tensión

Se usaron diodos para la protección en cada regulador. Esto es por sí se diera la situación que se desconecte la energía de entrada y la tensión regulada sea mayor por un pequeño momento. Este diodo se conecta entre la salida y la entrada del regulador, así si se pierde la alimentación y si la tensión regulada o de salida del

regulador permanece mayor que la de entrada, la corriente atraviesa el diodo por lo cual se evitan daños en el regulador.

En la siguiente figura se muestra el esquemático de la fuente implementada.

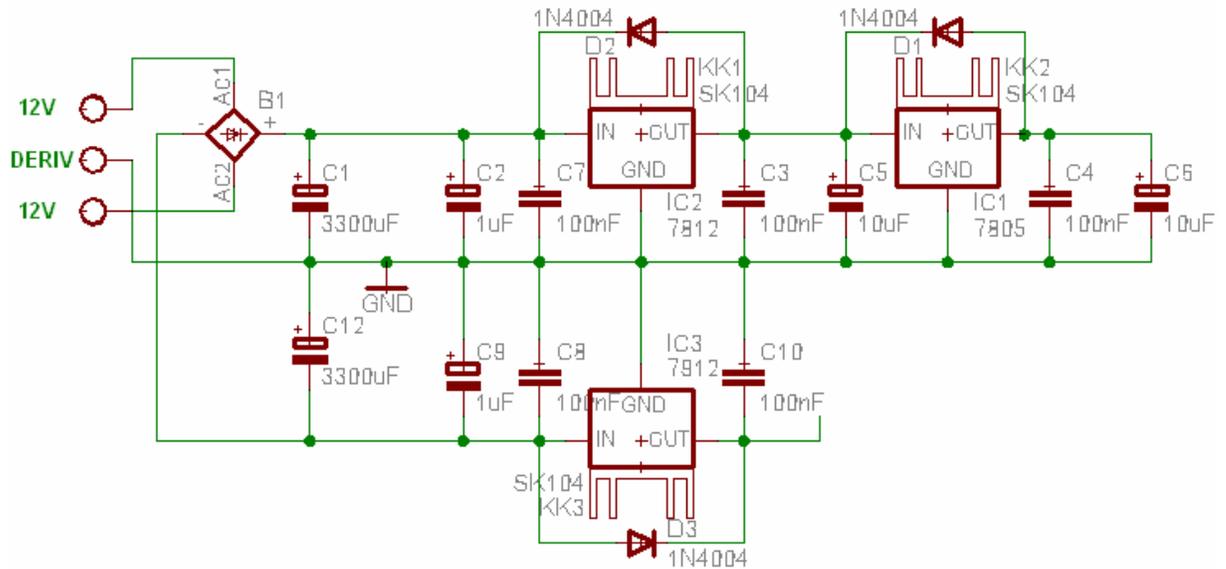


Figura 5-6 Esquemático de Fuente de Alimentación

Adicionalmente en la próxima figura se observa el diseño del impreso de la fuente de alimentación.

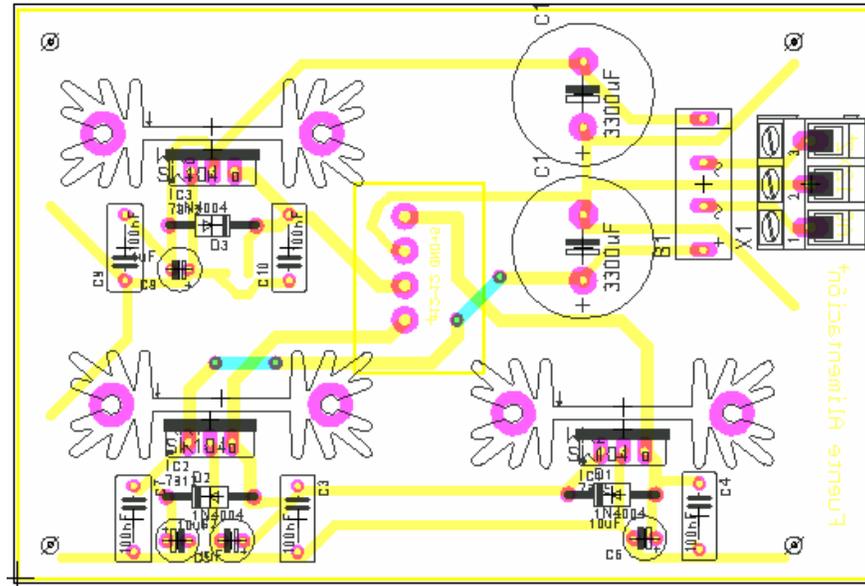


Figura 5-7 Diseño del Circuito Impreso de la Fuente de Alimentación



Figura 5-8 Circuito de Fuente de Alimentación

5.3.2 Circuito Acondicionador de Señal para sensores de Temperatura

Objetivo General

- Garantizar la captura de datos desde los sensores de forma segura, correcta y a largo plazo.

Objetivos Específicos

1. Lograr un acople de potencia entre el transductor y el receptor de los datos.
2. Aprovechar la máxima resolución del convertidor analógico digital del receptor de datos.
3. Utilizar la menor cantidad de hardware posible.

Los Sensores de presión son del fabricante National Semiconductors y están catalogados dentro de la misma como sensores de temperatura en grados centígrados. (Ver anexo B.3)

Características:

1. La familia es la LM y pueden operar entre los (-65 a 150) °C, poseen una exactitud de aproximada de ± 1 °C.
2. Sensores con salida lineal de voltaje, de 10mV/°C.
3. Poseen salida de baja impedancia de 0,1Ω para cargas de 1mA.
4. Las conexiones físicas del transductor se pueden representar así:

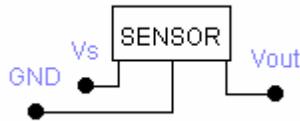


Figura 5-9 Terminales del sensor de temperatura

Requerimientos:

1. Estos sensores necesitan una tensión de alimentación entre los 4VCD y 30VCD.
2. Carga máxima de 50pF.

En base a los datos del sensor se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$FT = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Temperatura}} = \left(\frac{10mV}{1^{\circ}C} \right) = 10mV/^{\circ}C$$

No es necesario realizar un acople de impedancias entre el sensor y el PIC ya que el primero posee una impedancia de salida muy baja cercana a 1Ω y el PIC necesita una impedancia de entrada máxima de $2,5K\Omega$. Para expresar con mayor exactitud la temperatura se debe diseñar una etapa de amplificación.

Esta etapa se realizará con un amplificador operacional en configuración de amplificador No-Inversor.

En la siguiente figura se muestra la configuración de amplificador No-inversor.

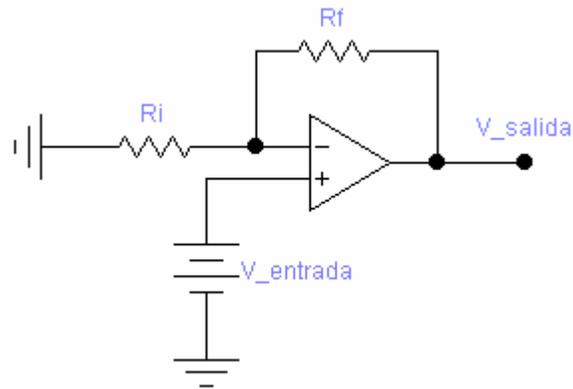


Figura 5-10 Amplificador No inversor.

En esta configuración la impedancia de entrada es el equivalente a R_i y la ganancia de voltaje es:

$$A_v = \frac{R_f}{R_i} + 1 \quad (2)$$

Se utilizan entonces los valores de $R_i = 11\text{k}\Omega$ y $R_f = 24\text{k}\Omega$. La impedancia de entrada es de $2\text{M}\Omega$ (Impedancia de entrada del OP-AMP) y la ganancia de voltaje es de 3,1818.

Se obtiene el siguiente circuito:

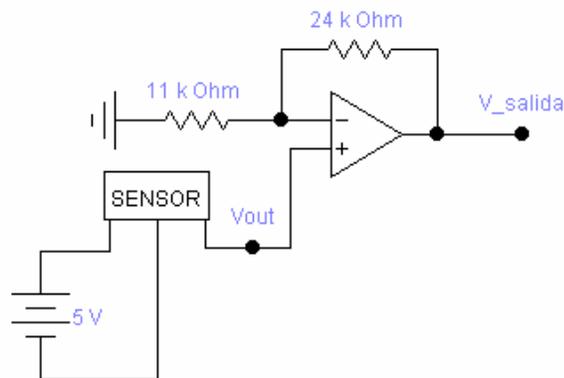


Figura 5-11 Circuito Acondicionador de señal para sensor de temperatura.

La nueva función de transferencia desde el sensor hasta el voltaje de salida es la siguiente:

$$FT = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Temperatura}} = \left(\frac{10mV}{1^{\circ}C} \right) \times \left(\frac{R_f}{R_i} + 1 \right) = 31,81 mV/^{\circ}C$$

Con estos valores de Rf y Ri la ganancia de voltaje es 3,1818. Como la salida máxima del transductor es (1,5V a 150°C) se obtiene a la salida del circuito acondicionador de señales un valor de 4,773V, el cual abarcaría el 95,45% de la resolución máxima del convertidor analógico-digital del PIC.

Por lo tanto se presenta lo siguiente:

- Con 10 bits de resolución del ADC $\frac{5V}{1024bits} = 4,88 mV/bit$

$$\frac{4773mV}{4,88 mV/bit} = 978bits \text{ max se tiene } \frac{150^{\circ}C}{978bits} = 0,153^{\circ}C/bit$$

En la tabla de abajo se muestra la información necesaria para trabajar con el ADC.

Tabla 5-8 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Temperatura)

Bits de resolución (ADC)	mV/bit	Constante para transformar de digital a decimal ($^{\circ}C/bit$) El dato obtenido en el convertidor debe multiplicarse por esta constante
10 (0-1023)	4,88	0,153

Como parte de uno de los objetivos principales de este proyecto fue su diseño modular, así también se realizaron los esquemáticos e impresos previamente a unir todo el circuito, por eso en las siguientes figuras se muestra el esquemático y circuito impreso solo de la etapa de acondicionamiento de señales de sensores de temperatura.

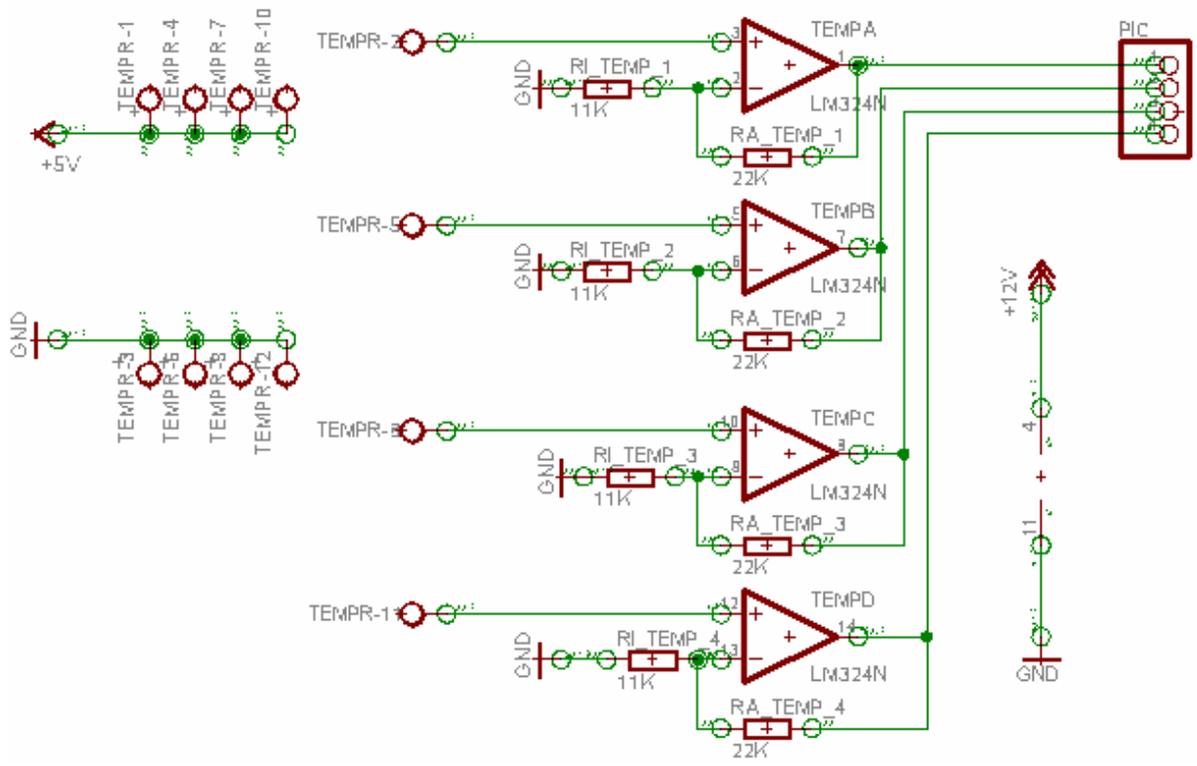


Figura 5-12 Esquemático del CAS de temperatura

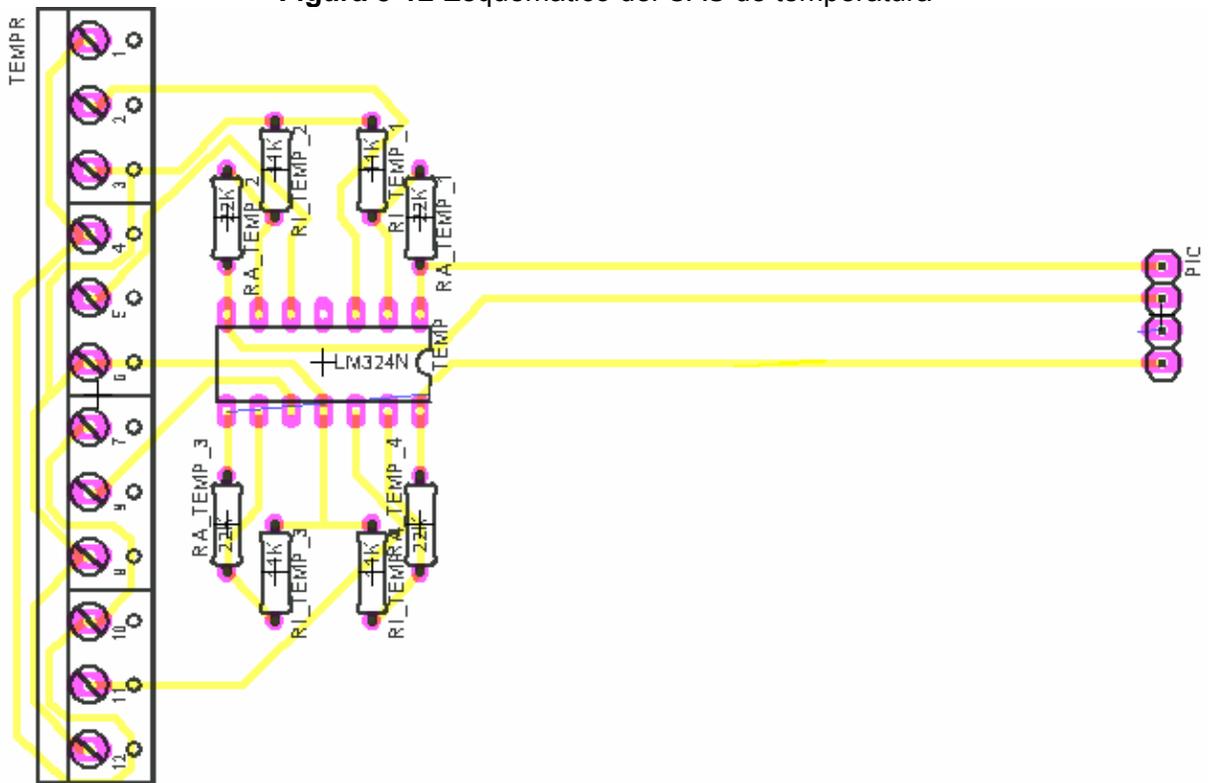


Figura 5-13 Diseño del Circuito Impreso del (CAS) de temperatura

5.3.3 Circuito Acondicionador de Señal para sensores de Presión

Objetivo General

- Garantizar la captura de datos desde los sensores de forma segura, correcta y a largo plazo.

Objetivos Específicos

1. Lograr un acople de potencia entre el transductor y el receptor de los datos.
2. Aprovechar la máxima resolución del convertidor analógico digital del receptor de datos.
3. Utilizar la menor cantidad de hardware posible.

Los Sensores de presión son del fabricante Measurement Specialties y están catalogados dentro de la misma como transductores de presión y son de la línea OEM. (Ver anexo B.4)

Características:

1. La familia es la MSP-300 y pueden operar entre los (-20 a 85) °C poseen una exactitud cercana al %1.
2. Sensores con salida lineal de voltaje, variable entre 0 y 100mVCD. Existen también con salida de corriente.
3. Presentan linealidad con respecto a la fuente de alimentación.

4. Las conexiones físicas del transductor se pueden representar así:

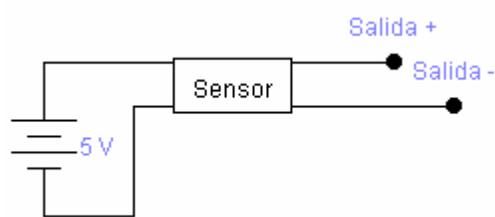


Figura 5-14 Terminales del sensor de presión

Requerimientos:

1. Estos sensores necesitan una tensión de alimentación de 5VCD.
2. Carga de salida de 1MΩ.

Los sensores manejan 500PSI, por lo tanto se obtiene la siguiente función de transferencia en el transductor:

$$FT = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Presion}} = \left(\frac{100mV}{500PSI} \right) = 0,2mV/PSI$$

Con base en el requerimiento 2 y a las especificaciones del PIC18LF4680, es necesario realizar un acople de impedancias ya que las entradas del convertidor analógico-digital del PIC recomiendan una impedancia de entrada no mayor a los 2,5KΩ.

Para realizar el acople se puede utilizar una etapa de amplificación basada en amplificadores operacionales que también permitirá aumentar el voltaje de salida del transductor para aumentar la resolución y facilitar el manejo de datos dentro del PIC.

En la próxima figura se muestra la configuración de amplificador diferencial.

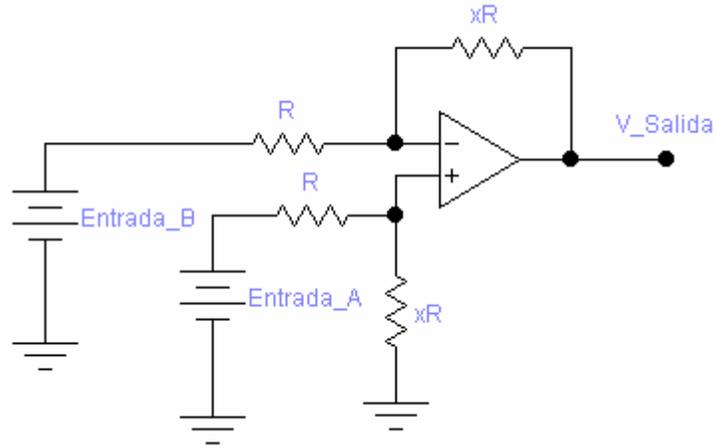


Figura 5-15 Amplificador Diferencial

En esta configuración la impedancia de entrada es el equivalente a R para cada entrada y la ganancia de voltaje diferencial es:

$$A_v = \frac{xR}{R} \quad (3)$$

Sin embargo la tensión de salida esta en función de las dos entradas, lo cual genera en la salida una tensión descrita por la siguiente ecuación:

$$V_Salida = x(Entrada_A - Entrada_B) \quad (4)$$

Cada sensor de presión tiene una salida positiva y una negativa, la positiva se conecta a la entrada A del amplificador diferencial, y la negativa a la entrada B del amplificador diferencial.

Bajo esta situación la impedancia con la que se carga al sensor es de $R+R = 2R$. Es equivalente a la impedancia de entrada del amplificador diferencial.

Se utilizan entonces los valores de $R = 820\text{k}\Omega$ y $R_f = 39\text{M}\Omega$. La impedancia de entrada es de $1,6\text{M}\Omega$ y la ganancia de voltaje es de 47,56. Entonces la tensión a la salida es:

$$V_{\text{Salida}} = 47,56(\text{Entrada}_{\text{A}} - \text{Entrada}_{\text{B}})$$

Se procederá entonces a ensamblar el siguiente circuito:

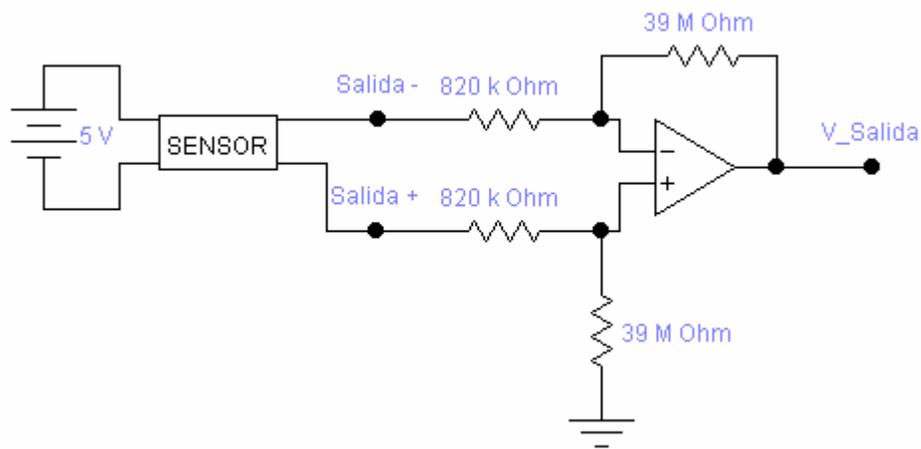


Figura 5-16 Circuito Acondicionador de señal para sensor de presión

La nueva función de transferencia desde el sensor hasta el voltaje de salida del amplificador diferencial es la siguiente:

$$FT = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Presion}} = \left(\frac{100\text{mV}}{500\text{PSI}} \right) \times \left(\frac{xR}{R} \right) = 9,512\text{mV}/\text{PSI}$$

Con estos valores de xR y R la ganancia de voltaje es 47,56. Como la salida máxima del transductor es 100mV se obtiene a la salida del circuito acondicionador de señales un valor de 4,756V, el cual abarcaría más del 95% de la resolución máxima del convertidor analógico-digital del PIC.

- Con 10 bits de resolución del ADC $\frac{5V}{1024bits} = 4,88mV/bit$
- $$\frac{4756mV}{4,88mV/bit} = 975bits \text{ max se tiene } \frac{500PSI}{975bits} = 0,5128^\circ C/bit$$

En la tabla que se muestra a continuación, se tiene el siguiente caso, según la resolución del convertidor:

Tabla 5-9 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Presión)

Bits de resolución (ADC)	mV/bit	Constante para transformar de digital a decimal (PSI/bit) El dato obtenido en el convertidor debe multiplicarse por esta constante
10 (0-1023)	4,88	0,5128

En la figura que prosigue se muestra el esquemático del (CAS) de presión, su componente principal es un amplificador operacional dual con entrada J-FET para reducir ruido, cada uno de estos amplificador operacionales trabaja como amplificador diferencial.

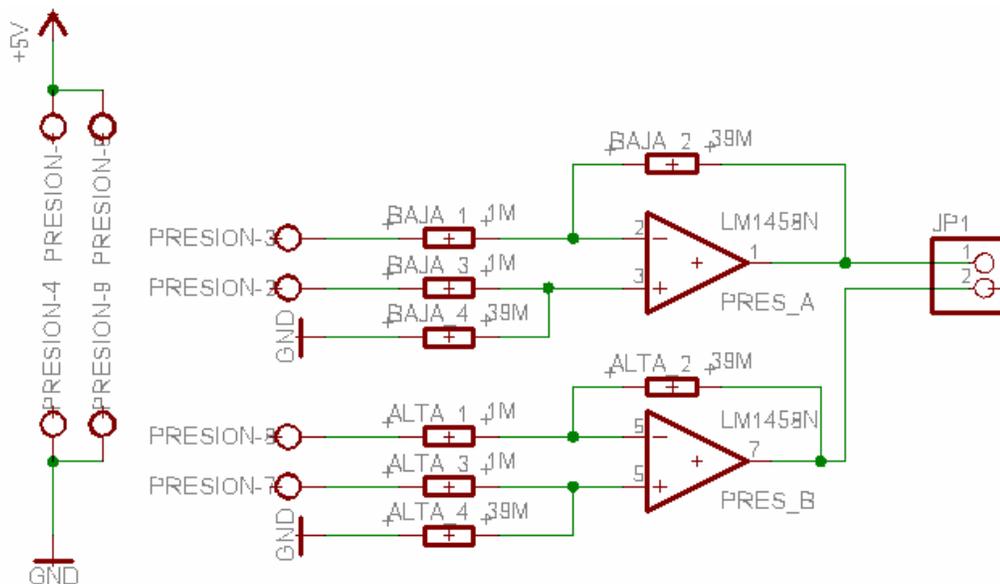


Figura 5-17 Esquemático del CAS de temperatura

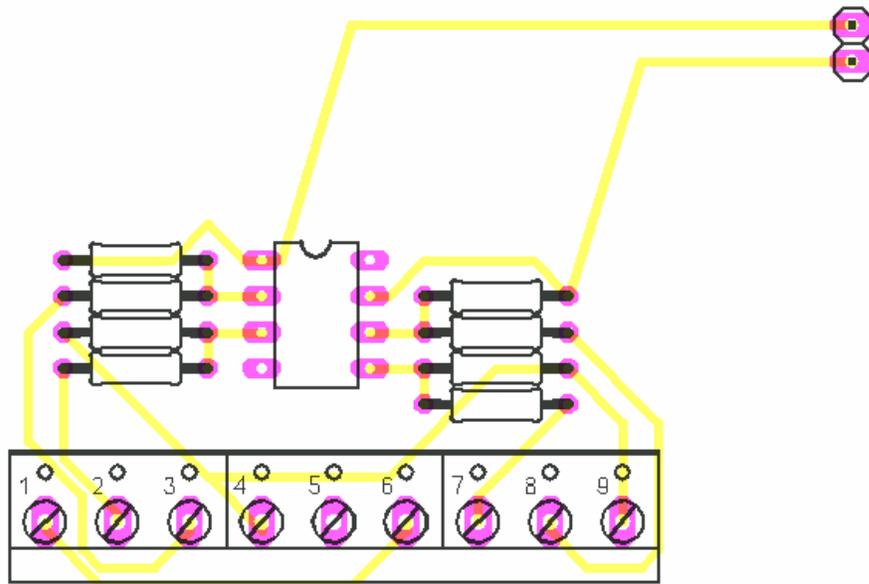


Figura 5-18 Diseño del Circuito Impreso del (CAS) de presión

5.3.4 Circuito Acondicionador de Señal para sensor de Corriente

Objetivo General

- Garantizar la captura de datos desde el sensor de forma segura, correcta y a largo plazo.

Objetivos Específicos

1. Lograr un acople de potencia entre el transductor y el receptor de los datos.
2. Aprovechar la máxima resolución del convertidor analógico digital del receptor de datos.
3. Utilizar la menor cantidad de hardware posible.

El sensor de corriente es del fabricante Tamura Corporation y están catalogados dentro de la misma como transductores de corriente por medio del efecto Hall a lazo abierto. El modelo es L08P100D15. (Ver anexo B.5)

Características:

1. La familia es la L08P y pueden operar entre los (-10 a 80) °C poseen una exactitud del %1.
2. Sensores con salida lineal y proporcional de voltaje, variable entre $\pm 4V$.
3. Las conexiones físicas del transductor se pueden representar así:

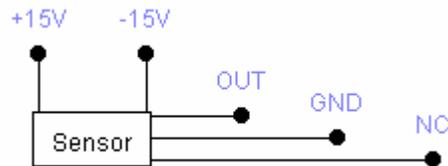


Figura 5-19 Terminales del sensor de corriente

Requerimientos:

3. Estos sensores necesitan una tensión de alimentación de $\pm 15V_{CD} \pm \%5$, sin embargo se consultó al fabricante sobre la posibilidad de usar $\pm 12V_{CD}$ y la respuesta fue positiva, simplemente que bajo esta situación el rango de medición se reduce proporcionalmente con la disminución de la tensión de alimentación.
4. Carga de salida mínima de 10K Ω .

El sensor garantiza la lectura de 100A RMS de corriente alterna senoidal, por lo tanto se obtiene la siguiente función de transferencia en el transductor:

$$FT = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Corriente}} = \left(\frac{4V}{100A} \right) = 40mV/A$$

Con base en el requerimiento 2 y a las especificaciones del PIC18LF4680, es necesario realizar un acople de impedancias ya que las entradas del convertidor analógico-digital del PIC recomiendan una impedancia de entrada no mayor a los 2,5K Ω .

Tal y como se explica en la característica numero 2, la salida (voltaje) de este sensor es proporcional a la corriente que la genera; por lo tanto se obtiene un voltaje alterno senoidal. Por tal motivo se utilizará una etapa de conversión de CA a CC basada en Amplificadores Operacionales, este circuito presenta como salida el valor medio absoluto de la señal alterna.

Aprovechando la etapa de anterior se deben seleccionar las resistencias de la misma respectivamente para cumplir con el requerimiento 2. Como la salida de esta etapa es un amplificador operacional la impedancia de salida es muy baja cercana a los 100 Ω lo cual cumple con el requerimiento del ADC del PIC.

En la figura que se da a continuación se muestra la configuración del circuito de valor medio absoluto.

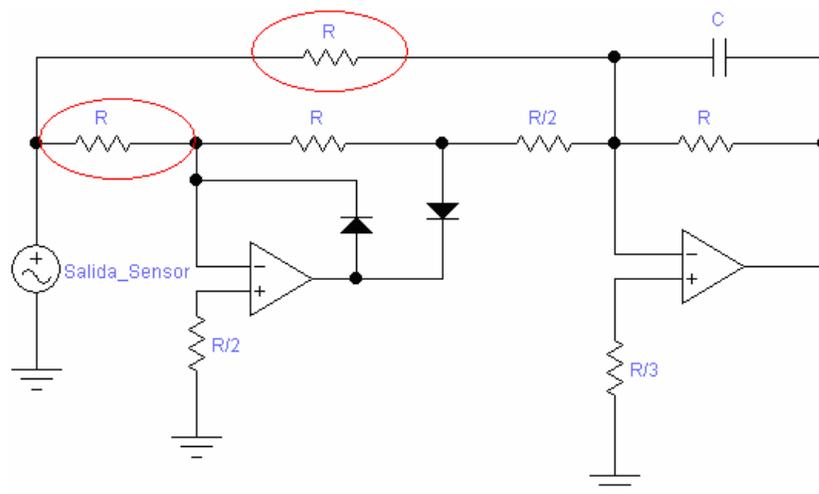


Figura 5-20 Circuito para la obtención de valor medio absoluto.

En esta configuración la impedancia de entrada es el equivalente al paralelo de las dos resistencias encerradas en rojo, por lo que se obtiene lo siguiente:

$$Z_{ENT} = \left(\frac{R \times R}{R + R} \right) = \frac{R}{2} \quad (5)$$

Se utilizan entonces los valores de $R = 22\text{K}\Omega$, así la impedancia de entrada es de $11\text{K}\Omega$, y en la salida una impedancia teóricamente cercana a los 0Ω y un voltaje que representa el valor medio absoluto de la señal de entrada.

Se ensambló el siguiente circuito:

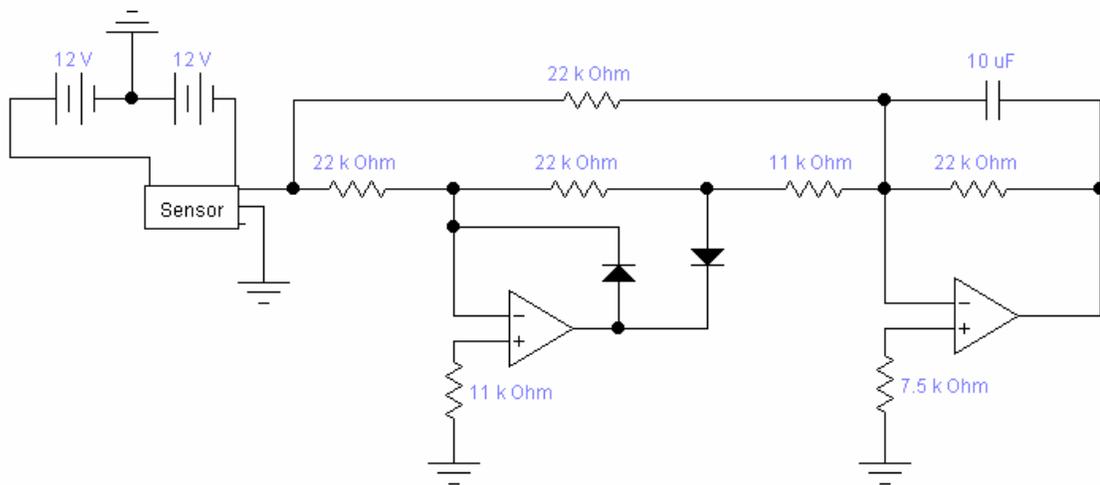


Figura 5-21 Circuito Acondicionador de señal para sensor de corriente.

Con el circuito de la anterior ilustración se puede obtener el valor medio absoluto de una señal de corriente alterna. La corriente del sistema es de naturaleza senoidal. Una corriente alterna se representa de la siguiente forma:

$$i(t) = I_p \text{sen}(\omega t) \quad \bullet \quad i(t) = \sqrt{2} I_{RMS} \text{sen}(\omega t) \quad (6)$$

I_p = corriente pico (máxima).
 I_{RMS} = corriente RMS.
 ω = velocidad angular.
 t = tiempo.

Para obtener el valor promedio absoluto de esa señal se realiza una sumatoria por medio de una integral. Esta integral se hace a lo largo de medio ciclo, para no obtener promedio de "0" debido a la naturaleza de la señal.

$$I = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_p \text{sen}(\omega t) d(\omega t) = I_p \left(\frac{2}{\pi} \right) = I \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right) \quad (7)$$

La nueva función de transferencia desde el sensor hasta el voltaje de salida es la siguiente:

$$FT = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Corriente}} = \left(\frac{4V_p}{100A(I_{RMS})} \right) \times \left(\frac{2}{\pi} \right) = 25,46 \frac{mV}{A_{(RMS)}}$$

La salida máxima del transductor es $V_{OUT} = (4\sqrt{2}) \text{sen}(\omega t) V$ cuando se mide una corriente de $I = (100\sqrt{2}) \text{sen}(\omega t) A$. Cuando se presenta la máxima salida a la salida del circuito de valor medio absoluto se presenta lo siguiente:

$$V_{VMA_MAX} = 4 \left(\frac{2}{\pi} \right) V = 2,546V$$

La tensión $V_{VMA-MAX}$ se convertiría en el valor máximo que debe ser convertido por el ADC del PIC, obteniendo un poco mas de la mitad resolución total del mismo.

Por lo tanto se presenta lo siguiente:

- Con 10 bits de resolución del ADC $\frac{5V}{1024bits} = 4,88 mV/bit$
 $\frac{2546mV}{4,88 mV/bit} = 521bits \text{ max}$ se tiene $\frac{100A_{RMS}}{521bits} = 0,1919 A_{RMS}/bit$

En la siguiente se muestran datos importantes sobre la medición del sensor con el ADC.

Tabla 5-10 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Corriente)

Bits de resolución (ADC)	mV/bit	Constante para transformar de digital a decimal (A_{RMS}/bit) El dato obtenido en el convertidor debe multiplicarse por esta constante
10 (1024)	4,88	0,1919

A continuación se muestra el esquemático del (CAS) de presión, su componente principal es un amplificador operacional dual con entrada J-FET para reducir ruido, el primer amplificador operacional de este circuito trabaja como diodo ideal y el segundo como amplificador, el capacitor en la realimentación del mismo estabiliza la señal oscilante que es amplificada en un nivel de corriente directa muy estable.

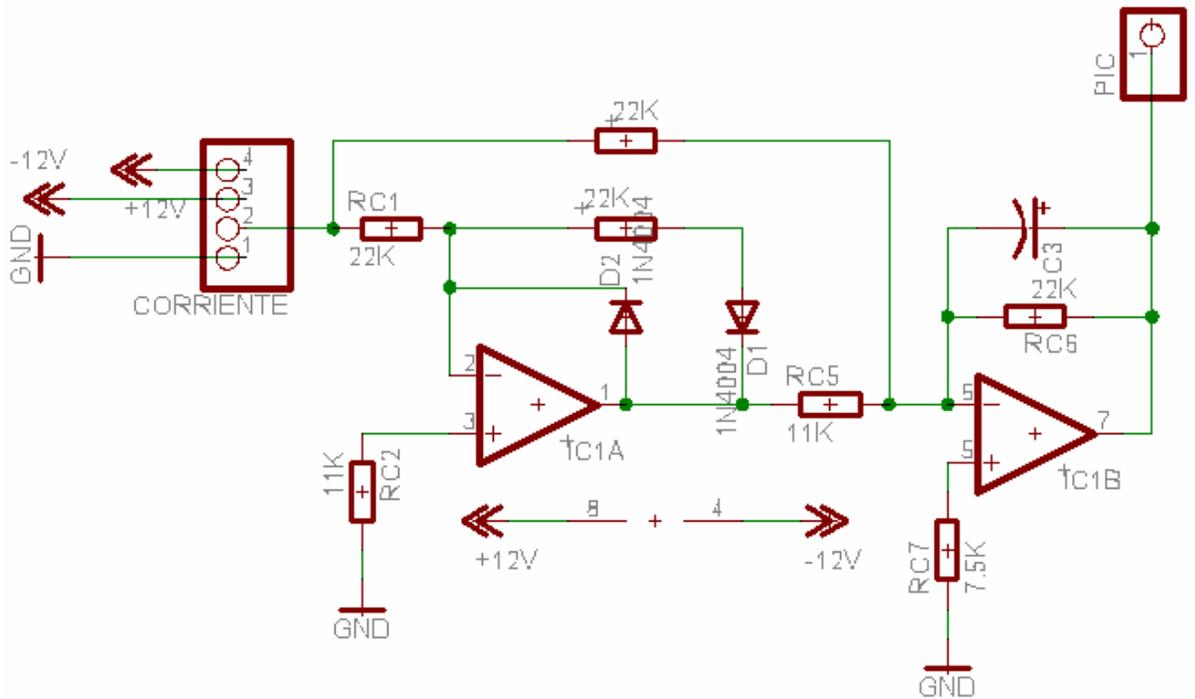


Figura 5-22 Esquemático del CAS de corriente

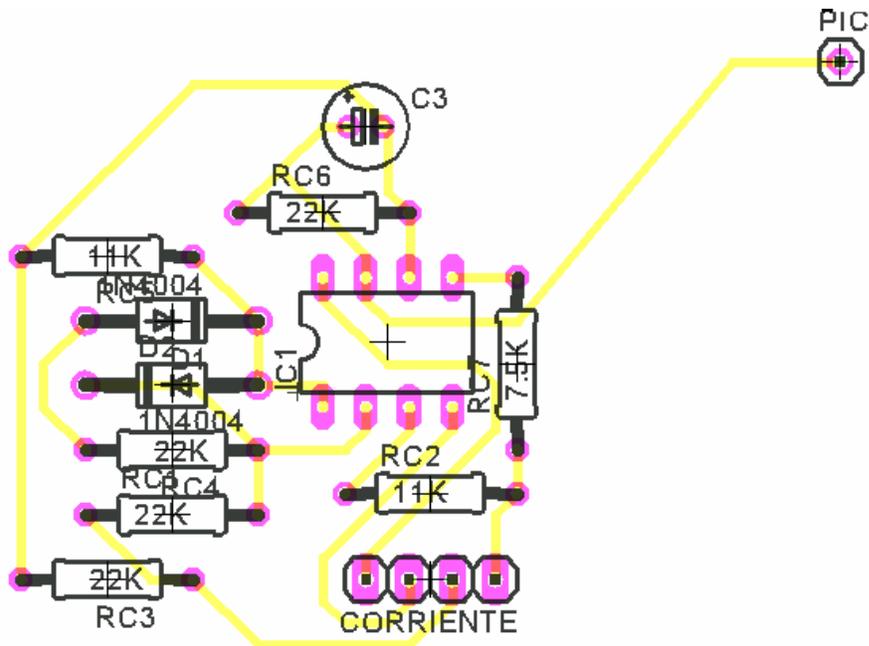


Figura 5-23 Diseño del Circuito Impreso del (CAS) de Corriente

5.3.5 Circuito Acondicionador de Señal para sensor de Voltaje

Objetivo General

- Garantizar la captura de datos desde el sensor de forma segura, correcta y a largo plazo.

Objetivos Específicos

1. Lograr un acople de potencia entre el transductor y el receptor de los datos.
2. Utilizar la menor cantidad de hardware posible.

El sensor de voltaje es diseñado para detectar la presencia o no de los 24VCA de control disponible en los sistemas de refrigeración. Este sensor consta de un rectificador de media onda, un capacitor como estabilizador de la onda rectificada, un diodo zener para estabilizar la tensión que alimenta el LED de un opto acoplador que a su vez indica al microcontrolador si hay o no presencia de tensión.

Características:

1. El sensor puede detectar tensiones de corriente alterna de 24V
2. Brinda aislamiento a través del uso de un opto acoplador.

Requerimientos:

1. El sensor requiere de una tensión de 24V de corriente alterna para funcionar si este valor se sobre pasa se puede dañar el sensor.
2. Si la tensión de control es mucho menor a los 24V el sensor no detectará esa tensión debido a que es necesario que esta tensión sea mínimo de 24V para garantizar el funcionamiento de los contactores.

El sensor garantiza la lectura de 24V RMS de corriente alterna senoidal, de una manera “binaria”, es decir, existe o no esa tensión en la entrada del sensor, en la próxima figura se detalla la construcción del sensor.

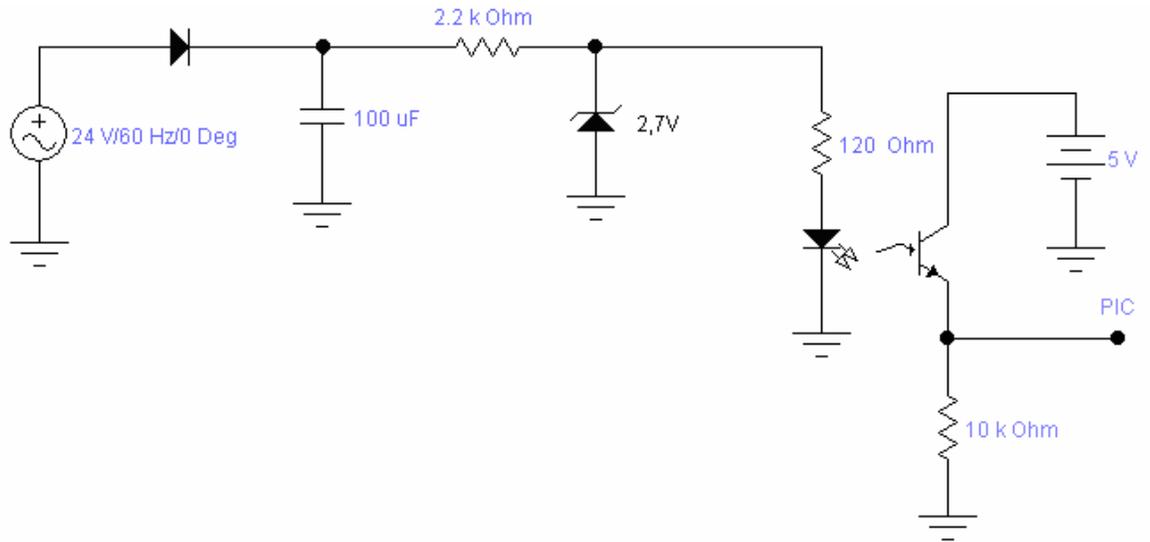


Figura 5-24 Circuito Acondicionador de señal para sensor de corriente.

En base a los requerimientos 1 y 2 se diseñó el sensor para detectar una tensión de 24VAC y de variar mucho este valor el sensor debe obviar esa señal.

Así por ejemplo una vez rectificada la señal se obtiene lo siguiente:

- El voltaje en el capacitor es $V_c = 24\sqrt{2} - 0,7 = 33,24V$
- Entonces el voltaje en la resistencia de 2,2KΩ es $V_R = 33,24 - 2,7 = 30,54V$ y una corriente de $\frac{30,54V}{2200\Omega} = 13,88mA$
- El LED del opto acoplador consume normalmente 10mA, entonces el zener se polariza con una corriente de tan solo 3,88mA

Por los puntos expuestos anteriormente se puede concluir que si la tensión de entrada cae de 24V el sensor no podría poner en saturación su transistor de salida evitando la detección del voltaje.

En la salida del opto acoplador de colocó una resistencia que recibe la siguiente tensión cuando se satura el transistor (encendió el LED):

$$V_R = 5V - V_{CE} = 5V - 0,3 = 4,7V$$

Ese voltaje entra al microcontrolador a través de una entrada analógica, para entrar en la supervisión cíclica, entonces se obtienen 2 casos para este sensor 0V y 4,7V que representan la presencia de los 24V de tensión de control del sistema de enfriamiento.

- Con 10 bits de resolución del ADC $\frac{5V}{1024bits} = 4,88 mV/bit$
 $\frac{4700mV}{4,88 mV/bit} = 963bits \text{ max}$ se tiene $\frac{24V_{RMS}}{963bits} = 0,0249 V_{RMS}/bit$

Seguidamente se muestran datos importantes sobre la medición del sensor con el ADC.

Tabla 5-11 Conversión análogo-digital y digital-decimal (Voltaje)

Bits de resolución (ADC)	mV/bit	Constante para transformar de digital a decimal (V_{RMS}/bit) El dato obtenido en el convertidor debe multiplicarse por esta constante
10 (1024)	4,88	0,0249

En la figura posterior se muestra el esquemático del sensor de presencia de tensión donde es importante recalcar el aislamiento por medio del opto acoplador con el fin de aislar la señal medida de corriente alterna del circuito principal de control que usa corriente directa e incluye al PIC, por lo cual es muy conveniente realizar este tipo de aislamiento.

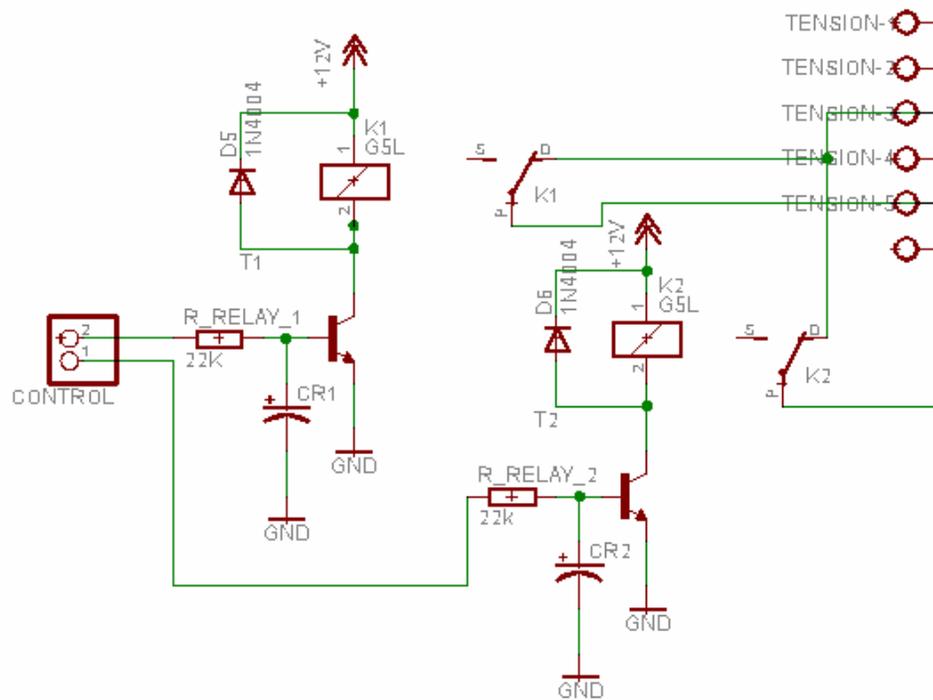


Figura 5-26 Esquemático la etapa de control

En la figura anterior, 2 terminales de la izquierda representan las salidas del PIC que controlan la activación o desactivación de los relés que a su vez dejan o no pasar la tensión de 24VAC a los contactores que controlan el encendido del compresor y el motor-abanico.

En ambos relevadores se presenta una tensión de 24VAC en el contacto normalmente cerrado y esta atraviesa hasta el común de ambos relés hacia los contactores pero cuando se presenta una señal de 5V en la salida del PIC el transistor se satura y produce el cambio hacia el contacto normalmente abierto, lo cual deja a los contactores sin los 24VAC que permiten la activación del compresor y/o abanico. Los capacitores que se ubican entre la Terminal de base del transistor y tierra se utilizan para absorber un pulso de 5V que el PIC coloca en sus puertos al encenderlo, este pulso dura unos cuantos milisegundos y experimentalmente se llegó a escoger un capacitor de 100uF para este propósito.

La bobina del relay requiere de 33mA para mover el contacto cuando se utilizan 12V, por lo tanto tomando en cuenta que la salida del PIC es de 5V se tiene lo siguiente:

$$I_B = \frac{5 - V_{BE}}{22K\Omega} = 195,45\mu A \quad I_C = \beta I_B = 200 \times 195,45\mu A = 39,1mA$$

La corriente de la bobina se calcula un poco mayor a la teórica tomando en cuenta que la tensión no serán 12V sino un poco menos por la caída entre el colector y el emisor del transistor ECG123, entonces se compensa con más de corriente.

5.3.7 Circuito para control general y despliegue

Objetivo General

- Garantizar el control confiable total del sistema de supervisión.

Objetivos Específicos

1. Mantener una lectura constante de las magnitudes supervisadas
2. Desplegar localmente mediante un LCD los valores capturados por los sensores.
3. Establecer comunicación con un sistema remoto para compartir datos del sistema de refrigeración supervisado.
4. Utilizar la menor cantidad de hardware posible.

Este circuito posee el componente principal del sistema, el PIC 18F4680, que se encarga del control total del sistema de supervisión (Ver anexo B.1). Este microcontrolador se encogió debido a que cumplía con los requerimientos del sistema:

1. 8 entradas analógicas para lectura de los sensores
2. Puertos digitales para el LCD e interruptores
3. Puerto de comunicación
4. Memoria de programa suficiente para controlar todos los procesos

Como se muestra en la próxima figura, este circuito recibe las señales acondicionadas de los sensores, para ser interpretadas para el despliegue en el LCD y transmitidas por el puerto de comunicación. También este circuito cuenta con 4 interruptores que permiten la navegación por los menús de ajuste de referencias y calibración de sensores. Directamente conectado al PIC se encuentra el LCD que permite el despliegue visual de las magnitudes y los menues. A continuación se muestra el esquemático del circuito de control general.

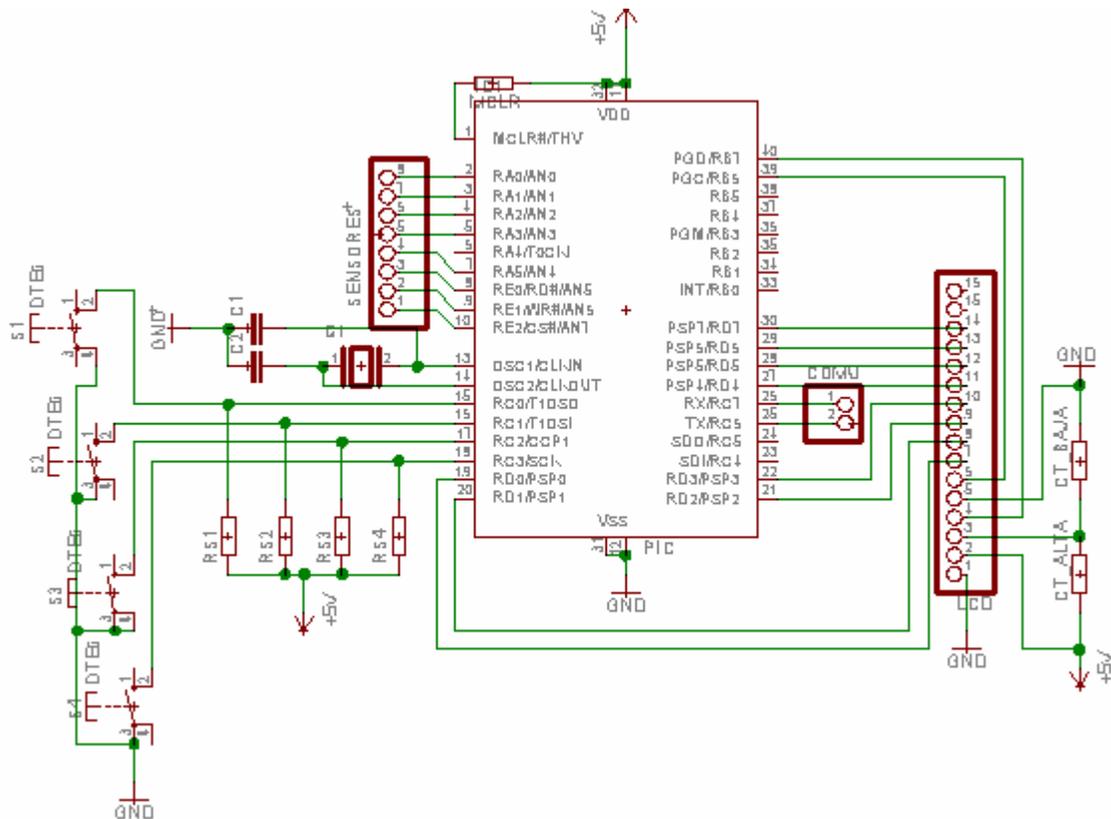


Figura 5-27 Esquemático la etapa de control general

Separadamente para este módulo llamado control general se creó el diseño del circuito impreso antes de unirlo con el resto de bloques de acondicionadores de señales, se muestra a continuación

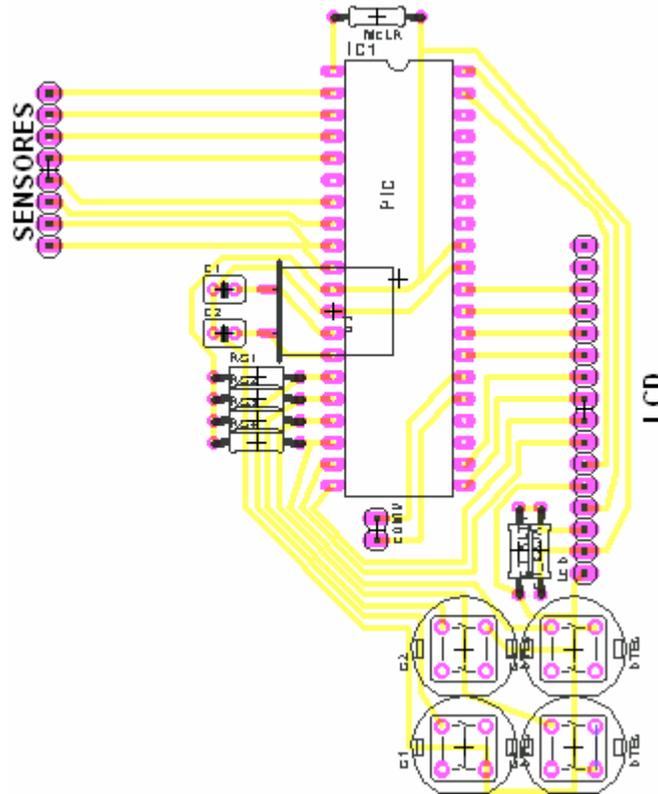


Figura 5-28 Diseño del Circuito Impreso del Control General

5.3.8 Circuito total unificado

Este circuito consta de todos los módulos expuestos en la sección 5.3, en la siguiente figura se como se agrupó los sub-diseños de los impresos en uno solo para obtener un único impreso que contempla todos los módulos.

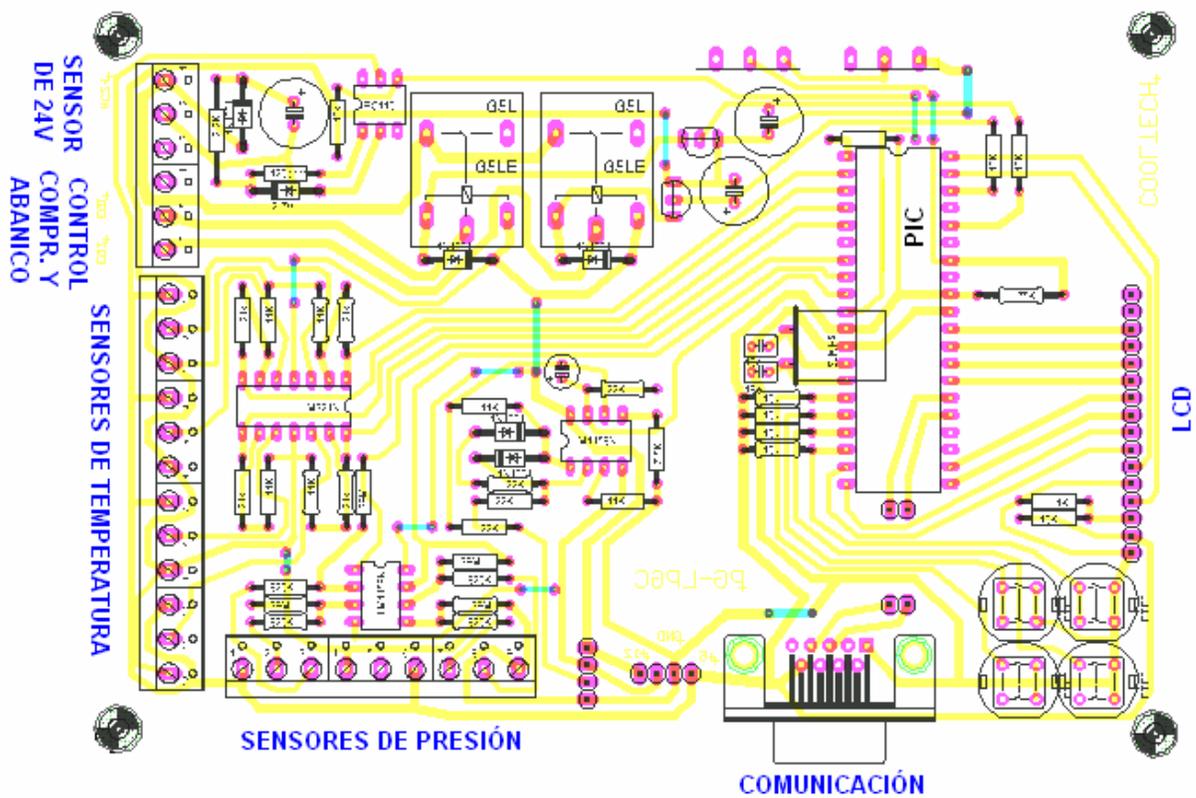


Figura 5-29 Diseño del Circuito Impreso del Control General

El impreso fue elaborado en la escuela de Electrónica del ITCR y luego del proceso de soldadura de componentes se obtuvo lo que se muestra en la siguiente figura.

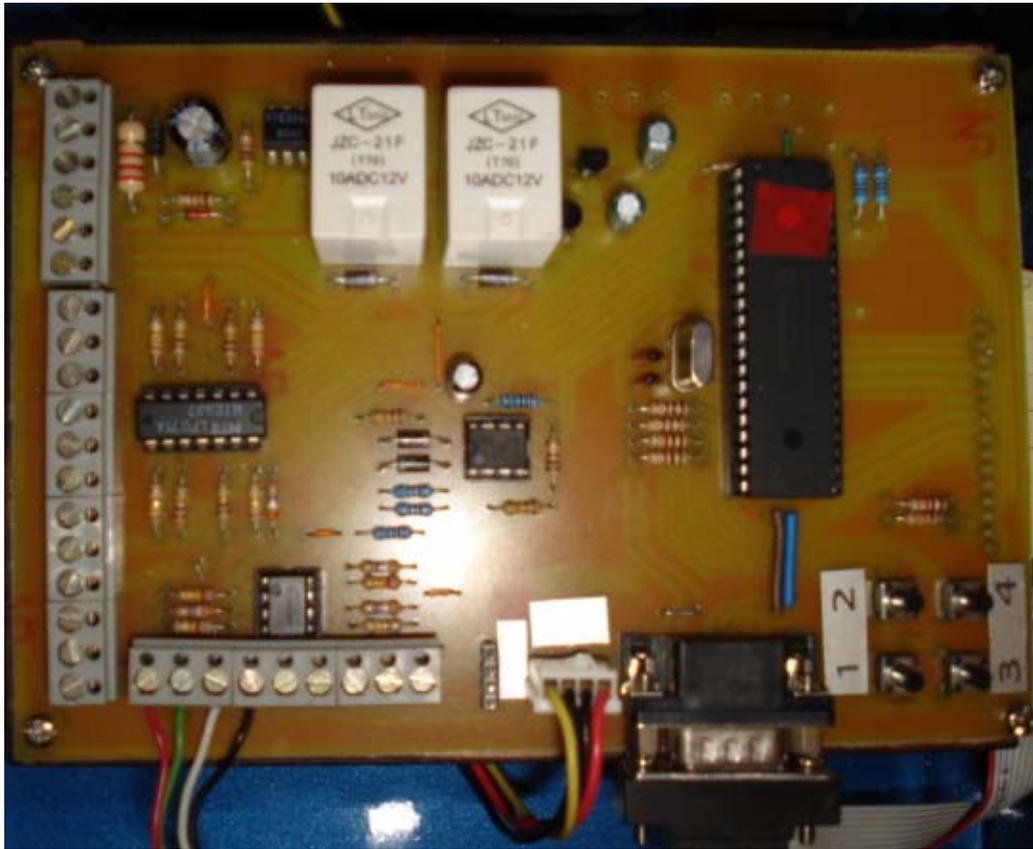


Figura 5-30 Circuito de supervisión de sistemas de refrigeración

5.3.8 Circuito (serial-to-ethernet) SB-70

Este modulo es del fabricante NETBURNER (Ver anexo B.2). El objetivo específico de este módulo es convertir el protocolo serial EIA-TIA-232 al protocolo de red TCP/IP con el cual se puede acceder a una red LAN (Local Area Network).

El microcontrolador posee un puerto de comunicación serial al cual se le configuran los siguientes parámetros:

Tabla 5-12 Configuración del puerto RSEIA-TIA-232

Parámetro	Valor
Velocidad	9600 bps
Bits de datos	8
Paridad	Ninguna
Bits de parada	1

Ahora con este protocolo la comunicación queda limitada a realizarse con otro equipo que posea ese mismo estándar y uno de los objetivos de este sistema es comunicarse en red LAN ya que este tipo de redes se encuentran más extendidas en todo el país y permitiría en el mediano o largo plazo acceder a otros servicios como servidores y bases de datos.

Se seleccionó el modulo SB-70 para realizar esta “traducción”; este módulo posee varias características que facilitan el proceso de cambio de medio serial a ethernet:

1. Entradas TTL (no se necesita acople de tensión)
2. Dirección MAC
3. Dirección IP configurable estáticamente
4. Dirección puede ser configurada por DHCP
5. Puede trabajar a 10MB o 100MB
6. Tensión de alimentación de 5V
7. Configuración sencilla a través de pagina web
8. 2MB de memoria para almacenamiento de datos.

Por estas características se eligió este módulo. La configuración se definió de la siguiente manera:

Tabla 5-13 Configuración para uso en medio Ethernet

Configuración del puerto serial de entrada del módulo	IP del Módulo	IP de la PC	Máscara de ambos dispositivos
Igual a la del microcontrolador (ver tabla 5 -12)	192.168.0.82	192.168.0.82	255.255.255.0

5.4 Descripción del software

5.4.1 Programa del microcontrolador PIC18F4680

El programa implementado en el microcontrolador PIC18F4680 esta estructurado de manera modular, el programa se hizo en el lenguaje PIC-C con el compilador CCS COMPILER 4.023.

Las funciones principales del sistema son orientadas directamente a objetivos específicos del sistema de supervisión. A través de las rutinas se logró crear el control del sistema que es capaz de realizar funciones de visualización y comunicación sobre el estado de un equipo de refrigeración. El funcionamiento del programa es cíclico, por lo cual se asegura la actualización constante de las magnitudes medidas por los sensores.

La principal característica en la creación del programa del PIC es su dependencia entre módulos, lo cual permitió la elaboración independiente de rutinas y la actualización constante de las mismas, con la ventaja de pensar en cada función como un mundo autónomo hasta el punto en que fuese posible, según la jerarquía de cada rutina.

La estructura principal del programa se muestra en la siguiente figura:

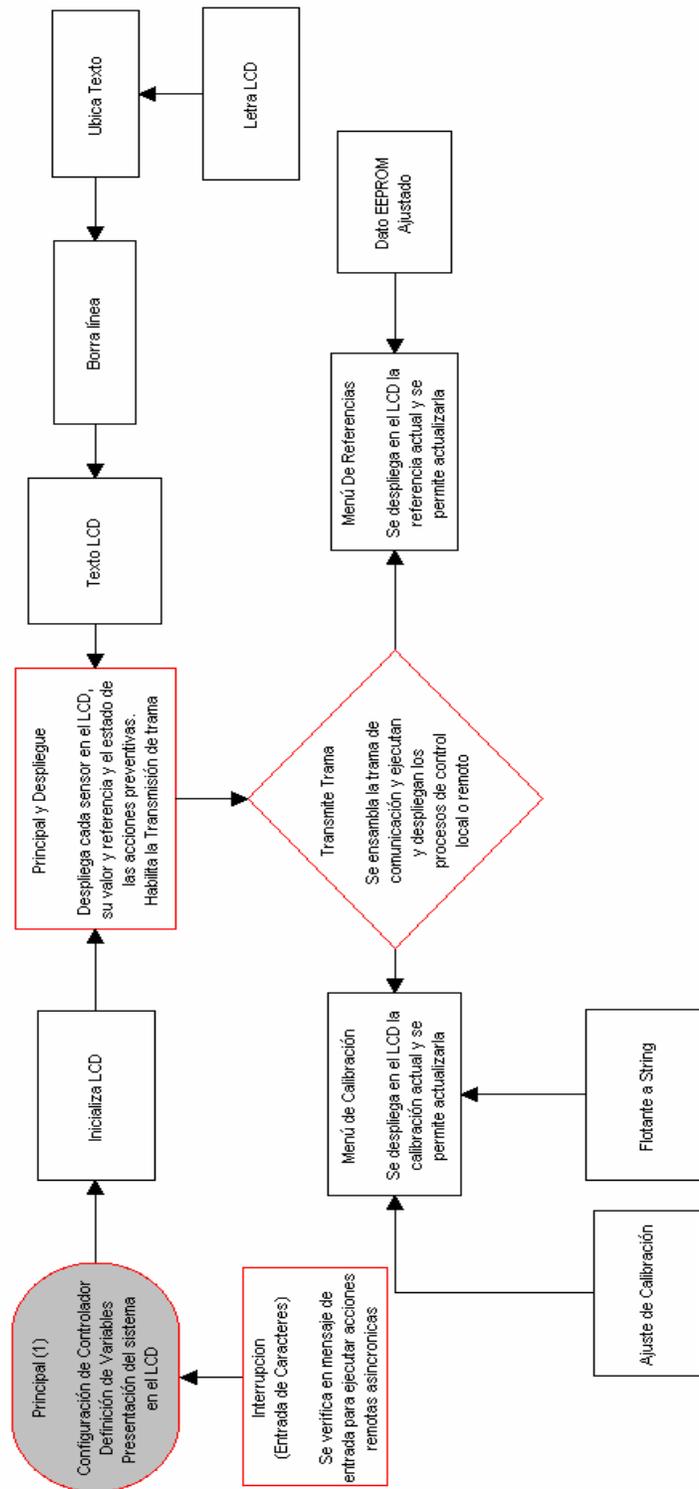


Figura 5-31 Diagrama de flujo del software del PIC

Cada una de las figuras geométricas unidas por flechas en la figura anterior se representa una función o rutina implementada en el programa para realizar una o algunas funciones específicas. Todas estas rutinas o módulos fueron implementadas en archivos por separados con el fin de obtener las siguientes características:

- Independencia entre los módulos
- Mejor ordenamiento y estructuración del programa. (Organización Jerárquica)
- Optimización en el proceso de pruebas y detección de fallas

En la figura 5-32 se da una definición visual de cómo el programa hace uso de sus diferentes módulos para lograr cumplir los objetivos de supervisión, comunicación y control.

En el sistema total existen funciones de propósito general y otras más específicas. Escribir textos en el LCD es necesario para diferentes funciones, como lo son “Principal y Despliegue” y los 2 menús del sistema, por lo tanto esta función es de propósito general y su jerarquía es baja.

En la creación del programa se necesitó tomar en cuenta detalles como la recepción asincrónica de datos, por parte del software ubicado en el computador remoto de recepción de datos, esto convirtió a esta función en una de alta jerarquía. Así, se establecieron prioridades en la ejecución de las funciones.

El que una función posee baja jerarquía no implica que sea innecesaria, todo lo contrario, las funciones de bajo nivel son fundamentales para la ejecución de rutinas de mayor rango.

En la siguiente tabla se enumeran los módulos que se muestran en la figura 5-32 además se cita la jerarquía y función o funciones de cada uno.

Tabla 5-14 Módulos del programa del microcontrolador

Modulo	Función	Jerarquía
Principal	Configuración del microcontrolador	1
Interrupción	Capturar datos provenientes del software de supervisión	1 (previa ejecución de principal)
Principal y Despliegue	Módulo general, despliega el estado del sistema y habilita la transmisión de trama	2
Transmite Trama	Transmite el estado del sistema, habilita los menús de referencia y calibración, además se ejecutan acciones de control	3
Menú de Referencias	Se permite la visualización y actualización de las referencias de cada sensor	4
Menú de Calibración	Se permite la visualización y actualización de la calibración de cada sensor	4
Inicializa LCD	Inicializa el LCD	4
Texto LCD	Escribe un texto en el LCD	5
Borra línea	Borra una línea del LCD	6
Ubica Texto	Ubica el texto en el LCD	6
Letra LCD	Escribe una letra en el LCD	6
Dato EEPROM ajustado	Ajusta los datos de referencias almacenados en la EEPROM	5
Ajuste de Calibración	Ajusta los datos de calibración almacenados en la EEPROM	5
Flotante a String (FTOA)	Convierte los números de flotantes a "string" para mostrarlos en el LCD	5

5.4.1.1 Módulo Principal

Este módulo es el de mayor jerarquía y en el se dan todos los lineamientos principales para realizar el proceso de supervisión.

Sus funciones son las siguientes:

- Definición de variables principales como número de sensores, contador de recorrido de sensores, la bandera de acciones preventivas y la tabla de ajuste de binario a decimal
- Se configura el convertidor analógico digital, 8 canales para ocho sensores y se habilita la interrupción de presencia de datos en el buffer del puerto EIA-TIA-232.

- Habilita la inicialización del LCD y seguidamente se hace una presentación del sistema en el LCD
- Se incrementa o reinicia el contador de sensor para despliegue en el LCD con el fin de enviarlo al modulo de despliegue
- Se habilita el modulo “Principal y Despliegue”

5.4.1.2 Interrupción (Recepción)

La jerarquía de este modulo es la más alta, sin embargo para que pueda ejecutarse el modulo principal tiene que haberse ejecutado al menos en una ocasión. La recepción de datos se hace por medio de una interrupción ya que los datos pueden llegar en cualquier momento desde el software que se encuentra en una computadora remota, es decir , el proceso de recepción es asincrónico con respecto al programa del microcontrolador, de tal manera que por medio de la interrupción del proceso que esta corriendo en el PIC si se puede obtener el dato entrante y una vez recibido se verifica si es válido, de serlo se hace la notificación y se continúa con el proceso.

Las funciones que se realizan en este módulo son las siguientes:

- Recepción de datos por el puerto de comunicación con el protocolo EIA-TIA-232
- Verificación del dato entrante por medio de una máquina de estados.
- Notifica al módulo principal si se dio una petición válida de control o prueba sobre alguno de los equipos (compresor y/o abanico)

Ver en la sección de Apéndices A.2 la figura A.2.2

5.4.1.3 Principal y Despliegue

Este es el primer módulo que es invocado por otro, posee jerarquía 2, es una máquina de estados de tan solo 2 estados, en un estado se despliega el estado de un sensor y el estado de las acciones preventivas locales y en el otro estado se habilita la transmisión de la trama

Funciones:

- Despliegue en el LCD del estado de un sensor, el sensor es enviado como parámetro desde el módulo principal, puede ser cualquiera de los 8 del sistema
- Despliegue en el LCD de la referencia o valor deseado de un sensor
- Despliegue del estado actual de la bandera de acciones preventivas, indica si esta habilitado o no el control local.
- Habilitación del módulo de transmisión de trama luego del despliegue de cada sensor.

Ver en la sección de Apéndices A.2 la figura A.2.3

5.4.1.4 Transmite Trama

Módulo de jerarquía 3, este módulo es de suma importancia por las funciones que realiza. Este módulo es una máquina de estados de 8 estados, la ejecución se realiza una vez dentro de la ejecución del módulo “principal y despliegue”.

Sus funciones son todas las siguientes:

- Construir y transmitir el mensaje de comunicación con el estado del sistema
- Habilitar la entrada al menú de referencias
- Habilitar la entrada al menú de calibración
- Ejecución de control local y despliegue de la alarma respectiva en LCD y mensaje de comunicación
- Ejecución de control remoto y despliegue de la alarma respectiva en LCD y mensaje de comunicación

Ver en la sección de Apéndices A.2 la figura A.2.4

5.4.1.5 Menú de Referencias

Módulo accesado al mantener presionado el botón 1, el sistema recorre cíclicamente los sensores y se ejecuta constantemente el módulo “Transmite Trama”, lo cual la entrada a este módulo puede realizarse rápida y efectivamente. La forma de implementar este módulo fue por medio de una máquina de estados de 11 estados, que en su mayoría pasan de un estado a otro, cambiando el despliegue en el LCD y el valor de referencia de algún sensor, según la entrada que el usuario elija de los botones. (Ver en la sección de Apéndices A.2 la figura A.2.5)

Las funciones de este módulo son las siguientes:

- Desplegar en el LCD la referencia actual de un sensor
- Desplegar en el LCD las posibilidades que brinda el menú
 - Botón 1: entra a sub-menú de habilitación de acciones preventivas locales
 - Botón 2: cambiar de sensor , podría ser cualquiera de los 8

- Botón 3: Habilita el sub-menú de cambio, aumentar o reducir la referencia
- Botón 4: sale del menú de referencias
- Detener el proceso de supervisión cíclica mientras se produce cualquier cambio.
- Almacenar en la EEPROM los valores de referencia

5.4.1.6 Menú de Calibración

Módulo accesado al mantener presionado el botón 2, durante la operación normal del sistema de supervisión. Este módulo es una máquina de estados de 5 estados, que en su mayoría viajan de uno a otro cambiando la visualización en el LCD o un valor de calibración según la entrada que el usuario elija de los botones. (Ver en la sección de Apéndices A.2 la figura A.2.6)

Las funciones de este módulo son las siguientes:

- Desplegar en el LCD el ajuste o calibración actual de un sensor
- Desplegar en el LCD las posibilidades que brinda el menú
 - Botón 2: cambiar de sensor , podría ser cualquiera de los 8
 - Botón 3: Habilita el sub-menú de cambio, aumentar o reducir el ajuste o calibración
 - Botón 4: sale del menú de referencias
- Detener el proceso de supervisión cíclica mientras se produce cualquier cambio.
- Ajustar los valores de calibración antes de guardarlos en la EEPROM, ya que los primeros poseen decimales y en la memoria los números no pueden almacenarse así, ya que solo posee 8 bits.
- Almacenar en la EEPROM los valores de referencia

5.4.1.7 Manejo del LCD

El LCD es utilizado por otros módulos:

- Principal y Despliegue
- Transmite Trama (si hay control local o remoto)
- Menú de Referencias
- Menú de Calibración

Debido a la necesidad de acceder a esta dispositivo constantemente se creo el módulo texto_LCD. Este módulo hace uso de otros módulos que en este caso podrían considerarse sub-módulos de este. Las funciones Letra_LCD, Borra_línea y Ubica _ texto son utilizadas siempre que se necesita mostrar un texto en el LCD. La tarea de cada una de estos módulos se especifica claramente en el nombre de cada una y en la tabla 5-10.

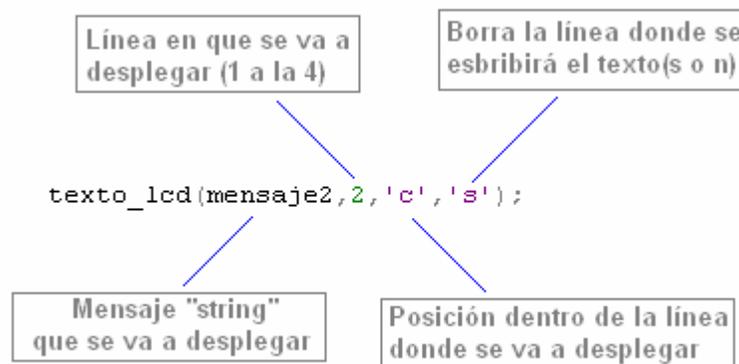


Figura 5-32 Características del manejo del LCD

En la figura anterior puede observarse las características que pueden controlarse con el módulo texto_LCD, de esta manera se logró obtener un control efectivo y por línea, con el fin de evitar refrescamientos innecesarios del LCD que complicaría la visualización y aumentaría el procesamiento y consumo eléctrico.

5.4.2 Software de recepción y almacenamiento de datos en PC

El programa implementado para la recepción de datos esta estructurado de forma modular, y como se citó anteriormente el programa se desarrollo en C# .NET 2005. La estructura principal del programa se muestra en la siguiente figura:

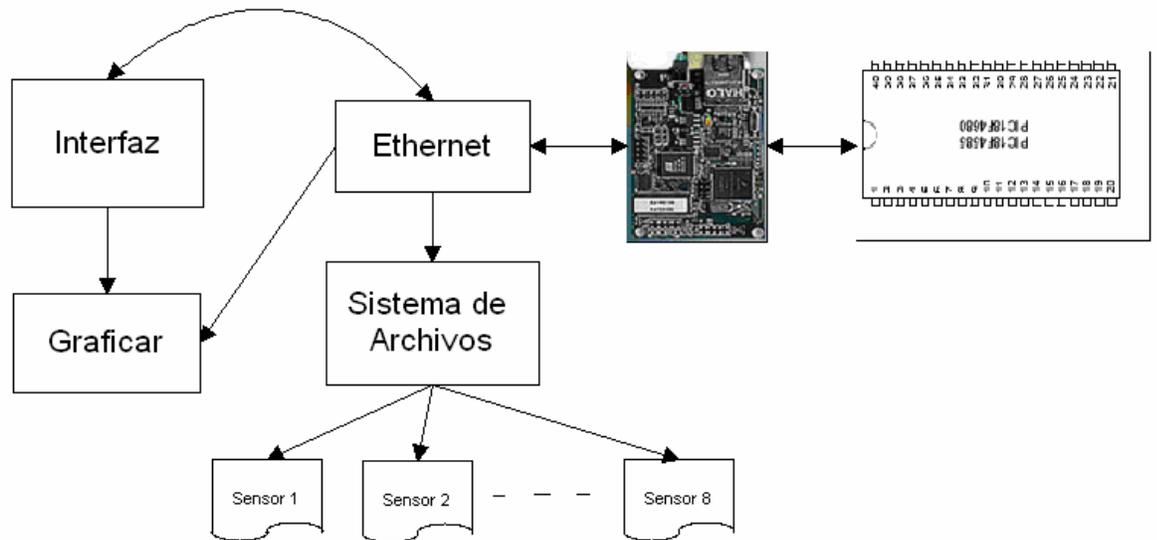


Figura 5-33 Diagrama de flujo del software de recepción

De igual manera que para el software del microcontrolador cada figura geométrica representa una función o rutina implementada en el programa para realizar una o algunas funciones específicas. Las rutinas o módulos fueron implementadas en archivos independientes con el fin de obtener las siguientes características:

- Independencia entre los módulos
- Mejor ordenamiento y estructuración del programa. (Organización Jerárquica)
- Optimización en el proceso de pruebas y detección de fallas

5.4.2.1 Interfaz

Funcionamiento:

La interfaz de la aplicación tiene varias funciones, el programa comienza con la inicialización de un temporizador que grafica el historial del sensor seleccionado, este historial se representa por medio de una lista simple¹.

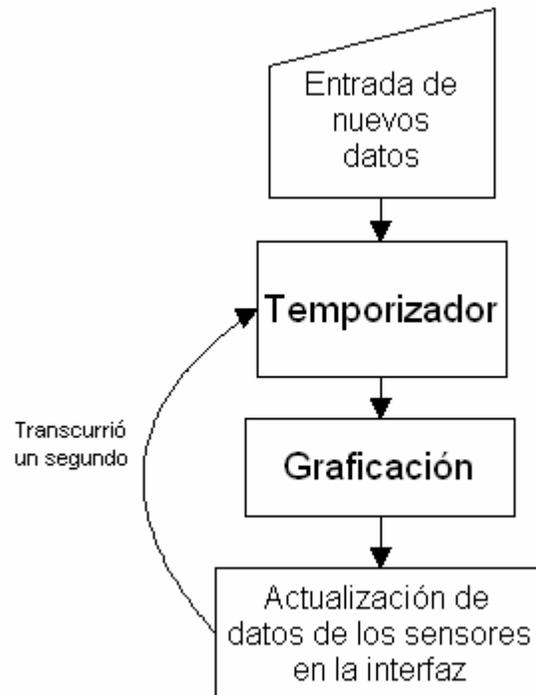


Figura 5-34 Diagrama de funcionamiento de interfaz

Estructura de la Lista:

Esta estructura se utiliza para la transmisión de datos de la capa Ethernet a la interfaz.

¹ Estructura lineal de datos compuesta por nodos con las mismas propiedades

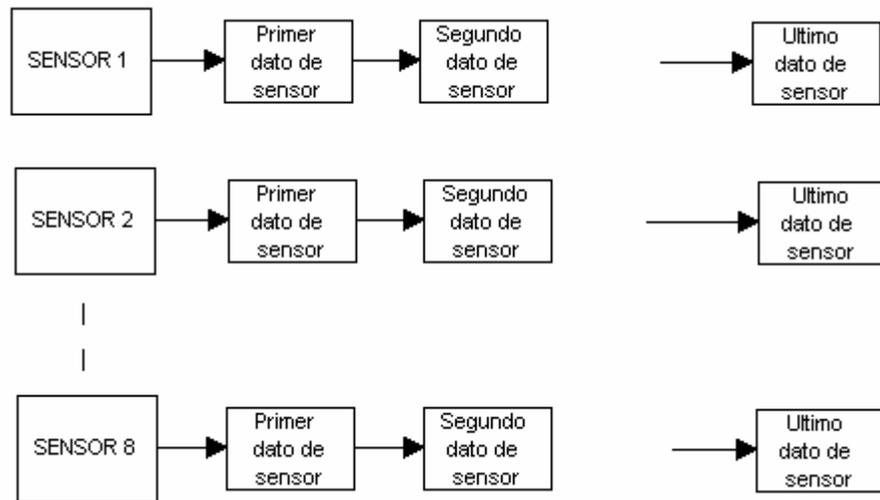


Figura 5-35 Estructura de listas para manejo de datos

Funciones:

- Inicializar:
 - Inicializacion de estructuras
- Timer:
 - Rutina de graficacion con desplazamiento.
- CalcularAltura:
 - Calcula la altura máxima de los valores para que no se pase de la región a graficar.
- UpdateInterface:
 - Actualiza los cuadros de cada sensor.
- CrearInterfaceGrafico:
 - Crea los ejes visuales en el gráfico además de la barra de desplazamiento.
- Desconectar:
 - Cierra el hilo de conexión con el ethernet.
- SelecciónSensor:
 - Selecciona el sensor que va a ser graficado

- Envío de datos para desactivar o activar:
 - Invoca al módulo ethernet con la función send(param). El parámetro es un código que representa una acción conocida por el pic.

5.4.2.2 Conexión a Ethernet

Funcionamiento:

Este módulo tiene como propósito realizar la conexión ethernet con el PIC. Se genera un hilo² con el ethernet al iniciar la interfaz para captar concurrentemente la transmisión de datos que el PIC provee.

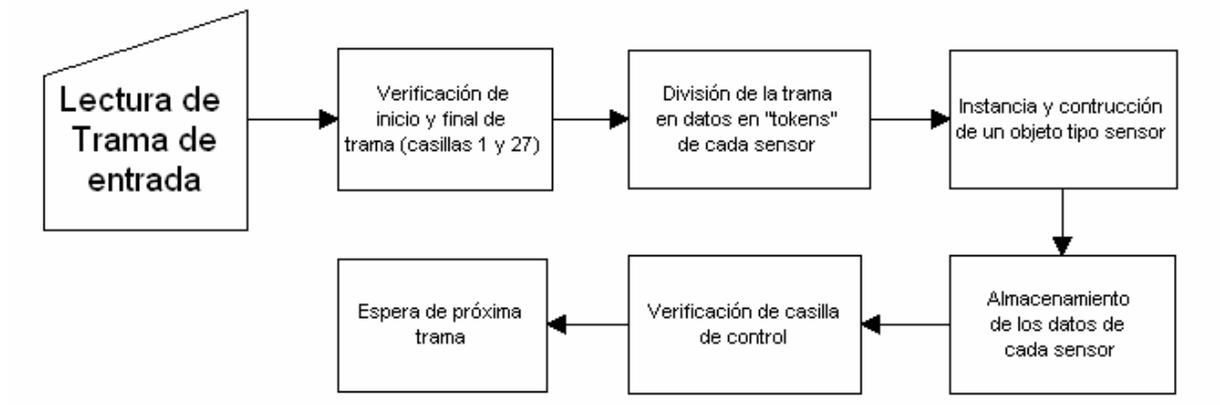


Figura 5-36 Diagrama de flujo de la clase Ethernet

Estructura:

Este módulo actualiza la Lista de la interfaz, para cada uno de los sensores en cada uno de sus historiales.

² Hilo o thread: es una característica que permite a una aplicación realizar varias tareas paralelamente. Los hilos de ejecución comparten recursos como el espacio de memoria, los archivos abiertos, etc. Esta técnica permite diseñar aplicaciones que deben ejecutar varias tareas simultáneas

Funciones:

- Inicializar:
 - Inicializacion de las estructuras y los sensores dentro del ethernet
- Conectar:
 - Rutina de conexión con la tarjeta ethernet recibe el puerto y la ip.
- Send:
 - Envia datos a la tarjeta ethernet.
- Recibir:
 - Recibe datos de la tarjeta ethernet.
- UpdateStructure:
 - Actualiza la estructura compartida Lista1 de la interface.
- Desconectar:
 - Desconecta el modulo ethernet.

5.4.2.3 Sistema de Archivos

Funcionamiento:

Este módulo tiene como propósito realizar el almacenamiento de datos leídos del PIC en archivos de texto para revisión a largo plazo.

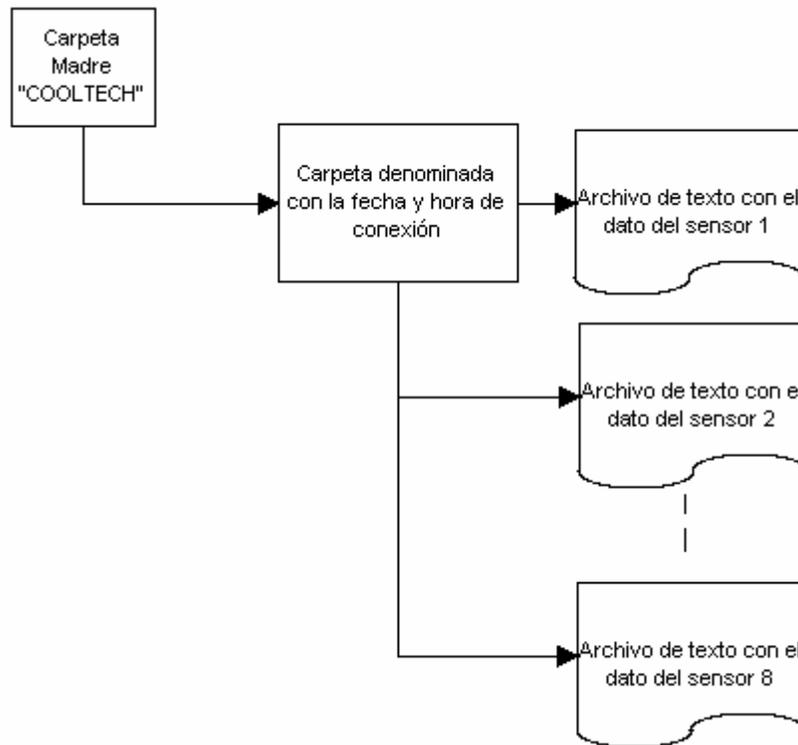


Figura 5-37 Diagrama de almacenamiento de archivos

Estructura:

La estructura que se maneja es la siguiente: Al iniciar la interfaz se crea una carpeta con la fecha y hora del inicio de conexión con el PIC, dentro de esta carpeta cada sensor corresponde a un archivo, el contenido del archivo es el historial del sensor con el formato (valor + "\$" + referencia + "\$" + hora + "\$" + fecha)

Funciones:

- Inicializar:
 - Crea de las carpetas y archivos de sensores para la sesión actual
- GuardarValor:
 - Guarda el (valor,referecia) para un sensor específico en el archivo correspondiente.

5.4.2.4 Objetos

Funcionamiento:

Son estructuras donde se almacenan los datos de los sensores. Cada uno de estos objetos es un cuadro de la figura 5-35.

Sensor:

La estructura de sensor posee 3 propiedades:

- Valor capturado
- Referencia o valor deseado
- Punto de ubicación X,Y para posible graficación

Capítulo 6 : Análisis de Resultados

6.1 Resultados

Fueron diseñadas y programadas rutinas en el compilador CCS Compiler 4.023 para las siguientes funciones:

- Captura de datos
- Despliegue visual
- Envío de datos
- Recepción de datos
- Ejecutar acciones de control (preventivas o de prueba)

El programa fue implementado en el microcontrolador PIC18F4680 del fabricante MICROCHIP.

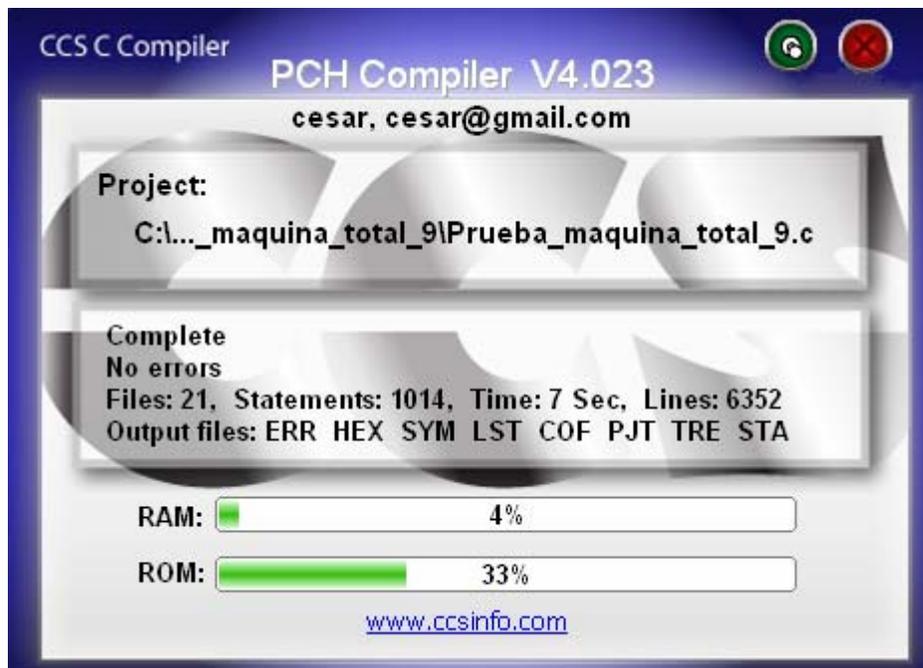


Figura 6-1 Resultado de la compilación del programa del PIC

En la figura 6-1 se muestra el resultado de la compilación final del programa que se desarrollo en el PIC, es el resultado de la compilación de el 100% del programa es decir del programa principal con todos los módulos descritos en el capítulo anterior.

El diseño de los circuitos impresos fue realizado en el software Eagle Layout 4.11 y las tarjetas para los circuitos fueron desarrolladas en la Escuela de Ingeniería Electrónica del ITCR. El proceso de soldadura se realizó según la guía y supervisión de Ronald Soto, técnico de electrónica del ITCR.

Una vez con las tarjetas impresas, se ensamblaron los circuitos impresos de fuente de alimentación y del sistema de supervisión, en la próxima figura se muestra la etapa de alimentación implementada.

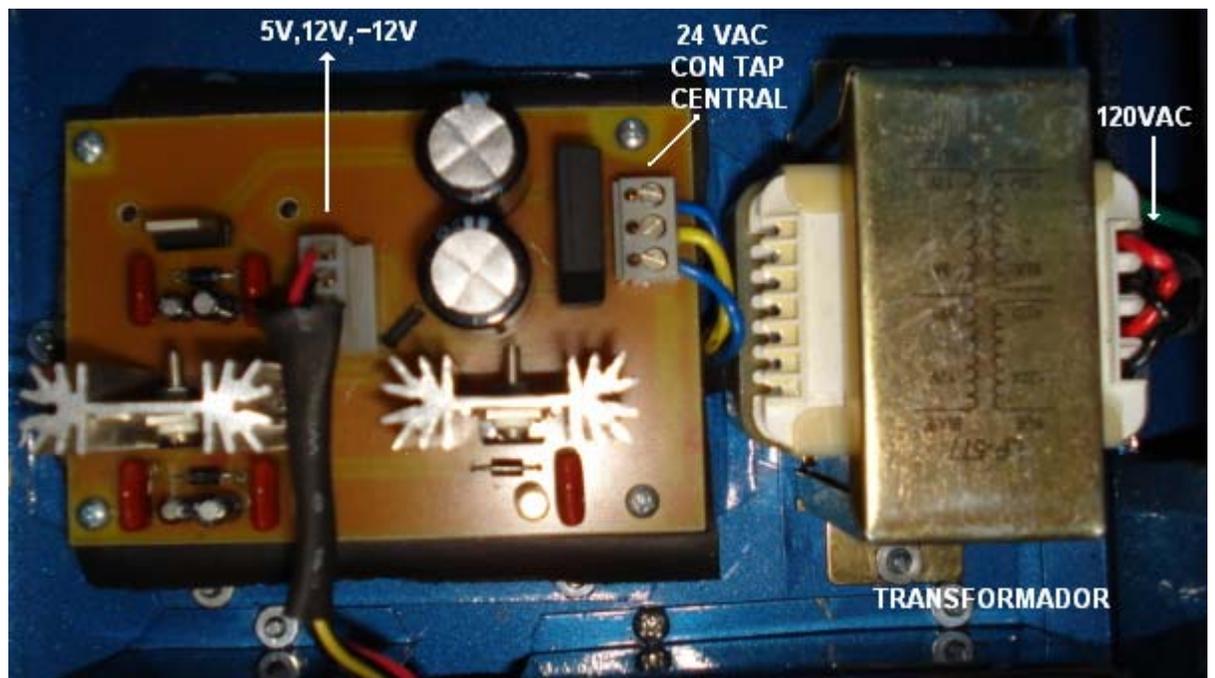


Figura 6-2 Etapa de alimentación

El resultado del impreso principal se expone en la siguiente figura:

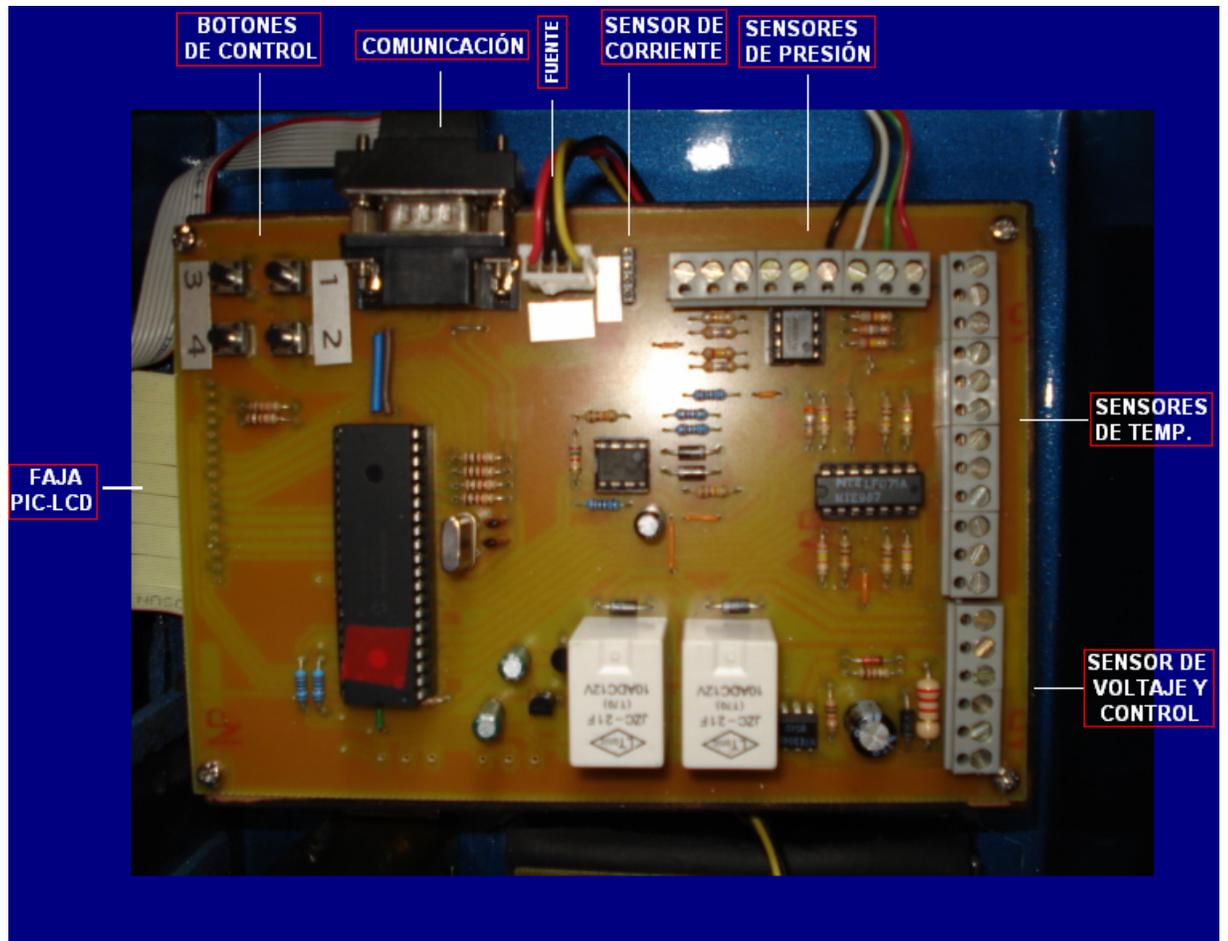
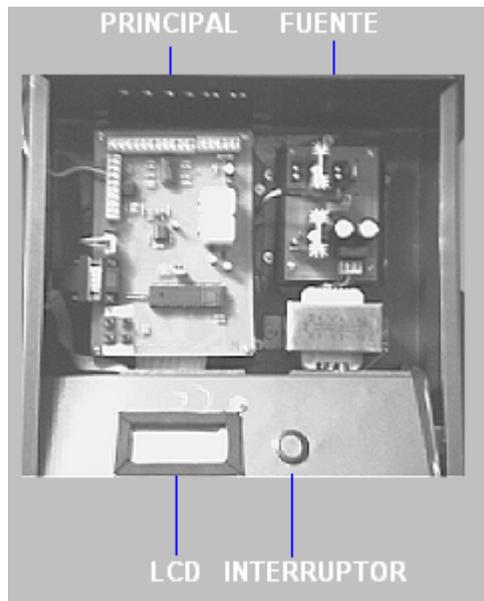


Figura 6-3 Circuito principal

El sistema total se ensambló en un chasis metálico (aluminio), en la próxima figura se tiene una vista superior del sistema.



Las variables de temperatura, presión, corriente y voltaje pudieron ser supervisadas por períodos de 3 horas o más de pruebas ininterrumpidas y realizadas en varias ocasiones durante diferentes etapas del proyecto. Se confirmó que la resolución máxima de 10 bits que puede utilizarse con el microcontrolador PIC16F4680 en su entrada analógica multiplexada es suficiente y apropiada para medir las variables citadas anteriormente. Esto quedó más confirmado aún cuando se realizaron comparaciones con otros medidores de cada una de las diferentes magnitudes.

En las siguientes tablas se presenta la información experimental con respecto a la toma de datos desde los sensores de temperatura, presión y corriente, tomando en cuenta el método que se utilizó para el ajuste y puesta en marcha del sistema. Se exponen medidas desde el sensor, el dato interpretado por el sistema de supervisión y a la vez por un medidor externo.

En la próxima tabla se muestra en caso del sensor de temperatura el cual mostró el siguiente comportamiento en la etapa final de pruebas.

Tabla 6-1 Datos experimentales de temperatura

Tensión de salida del sensor (mV)	Dato del sistema de supervisión(°C)	Dato de un termómetro tipo láser(°C)
224	22,5	22,55
246	24,5	24,70
288	29,1	28,75
320	31,9	32,05
335	33,6	33,00
348	34,9	34,75
382	38,0	38,30
412	41,0	41,05
435	43,7	43,55
203	20,1	20,30
193	19,4	19,25
185	18,7	18,50
172	17,0	17,30
166	16,5	16,60

El sensor de temperatura idealmente produce $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ y en la tabla anterior puede observarse que los datos del sistema de supervisión brinda datos muy apegados a lo capturado por el sensor y el termómetro digital de láser, el cual puede considerarse como una fuente sumamente fiable del dato de temperatura, sumado a esto debe tomarse en cuenta que el valor de temperatura entre las 3 columnas va a ser diferente ya que la lectura de las 3 magnitudes no pudo realizarse en el mismo instante, existe diferencia de algunos instantes lo cual infiere en la lectura, esto sumado a que el voltaje del sensor se mide con un voltímetro que posee su propio error. Ahora, después de una etapa de ajuste el sensor de temperatura pudo brindar al sistema una dato confiable de temperatura que es desplegado en el LCD y enviado en el mensaje de comunicación.

La etapa de ajuste fue muy similar en todos los sensores, en base a los cálculos de conversión digital-decimal se estudiaron los datos obtenidos por el sistema de supervisión; luego se realizaron comparaciones con un medidor externo, en este caso el termómetro láser y también la misma salida del sensor. Con esos datos y la comparación con otros instrumentos se reajustó la constante de transformación

digital-decimal y se optimizó el sistema con lo cual se obtuvieron los datos de la tabla anterior.

Para el sensor de presión se realizó el mismo proceso de ajuste y en la etapa final de las pruebas se obtuvo lo que muestra la siguiente tabla.

Tabla 6-2 Datos experimentales de presión

Tensión de salida del sensor (mV)	Dato del sistema de supervisión(PSI)	Dato de un Manómetro Analógico(PSI)
6	59,3	0
12	87,0	25
16	99,7	40
19	122,4	60
23	133,9	75
23	140,7	80
25	151,6	90
29	158,9	100

Es importante dar a conocer que se presentó un problema inesperado con el sensor de presión, ya que este presentaba un “offset” de voltaje aún si no tuviese presión, por lo cual se implementó el menú de calibración.

Este “offset” luego de la etapa de amplificación representa 59PSI en el sistema de supervisión por lo que sin la debida calibración hubiese sido un gran problema que se solucionó en la etapa digital.

Tabla 6-3 Datos experimentales de corriente

Tensión de salida del sensor (mV)	Dato del sistema de supervisión(A)	Dato de un Amperímetro Digital(A)
87	2,1	0
362	3,0	0
246	9,6	9,1
430	10,5	10,3

Con el sensor de corriente se notó experimentalmente una superioridad con respecto a un amperímetro externo con el que medir corrientes bajas fue casi imposible, el proceso de ajuste fue igual que para los sensores de temperatura.

En el estado normal de funcionamiento el sistema presenta constantemente la representación cíclica de los sensores en el LCD y se puede acceder a los menues de calibración o ajuste de referencias en cualquier momento.

En próxima tabla se muestran los mensajes de funcionamiento que se presentan en funcionamiento normal a través del LCD

Tabla 6-4 Mensajes desplegados en el LCD

Tipo de mensaje		
Datos de Sensor	<p>ESTADO ACTUAL TEMP.1 23.4 RF: 20 D:%85.5 Prevenir ACT:NO</p>	<p>ESTADO ACTUAL PR.BAJA 53.2 RF: 40 D:%133 Prevenir ACT:NO</p>
	<p>ESTADO ACTUAL CORRIENTE 3.6 RF: 10 D:% 36 Prevenir ACT:NO</p>	<p>ESTADO ACTUAL TENSION 24.6 RF: 24 D:%102.5 Prevenir ACT:NO</p>
Menú	<p>REFERENCIAS TEMP.1 25 Elija sensor >: 2 Cambia:3 Sale:4</p>	<p>AJUSTE SENSORES TEMP.1 0.0 Elija sensor >: 2 Cambia:3 Sale:4</p>

En el sistema de supervisión local se generan alarmas ya sea que se habilite el control local y se produzca una situación no deseada o si ocurren pruebas remotas desde el software de control. Las advertencias se muestran en el LCD con las leyendas que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6-5 Alarmas locales en el LCD

Tipo de control				
Local	EQUIPO 1 DESHABILITADO LOCALMENTE PRESION >> 0 <<		EQUIPO 2 DESHABILITADO LOCALMENTE DELTA TEMP > 30	
Remoto	EQUIPO 1 DESHABILITADO REMOTAMENTE	EQUIPO 2 DESHABILITADO REMOTAMENTE	EQUIPO 1 HABILITADO REMOTAMENTE	EQUIPO 2 HABILITADO REMOTAMENTE
	EQUIPO 1 EQUIPO 2 DESHABILITADOS REMOTAMENTE	EQUIPO 1 EQUIPO 2 HABILITADOS REMOTAMENTE	(EQ 1) (EQ 2) (HAB) (DES) REMOTAMENTE	(EQ 1) (EQ 2) (DES) (HAB) REMOTAMENTE

En lo que respecta al software de recepción de datos y generación de pruebas remotas, se creó un programa en Microsoft Visual Studio 2005 en el lenguaje C# .NET, la interfaz se presenta a continuación.

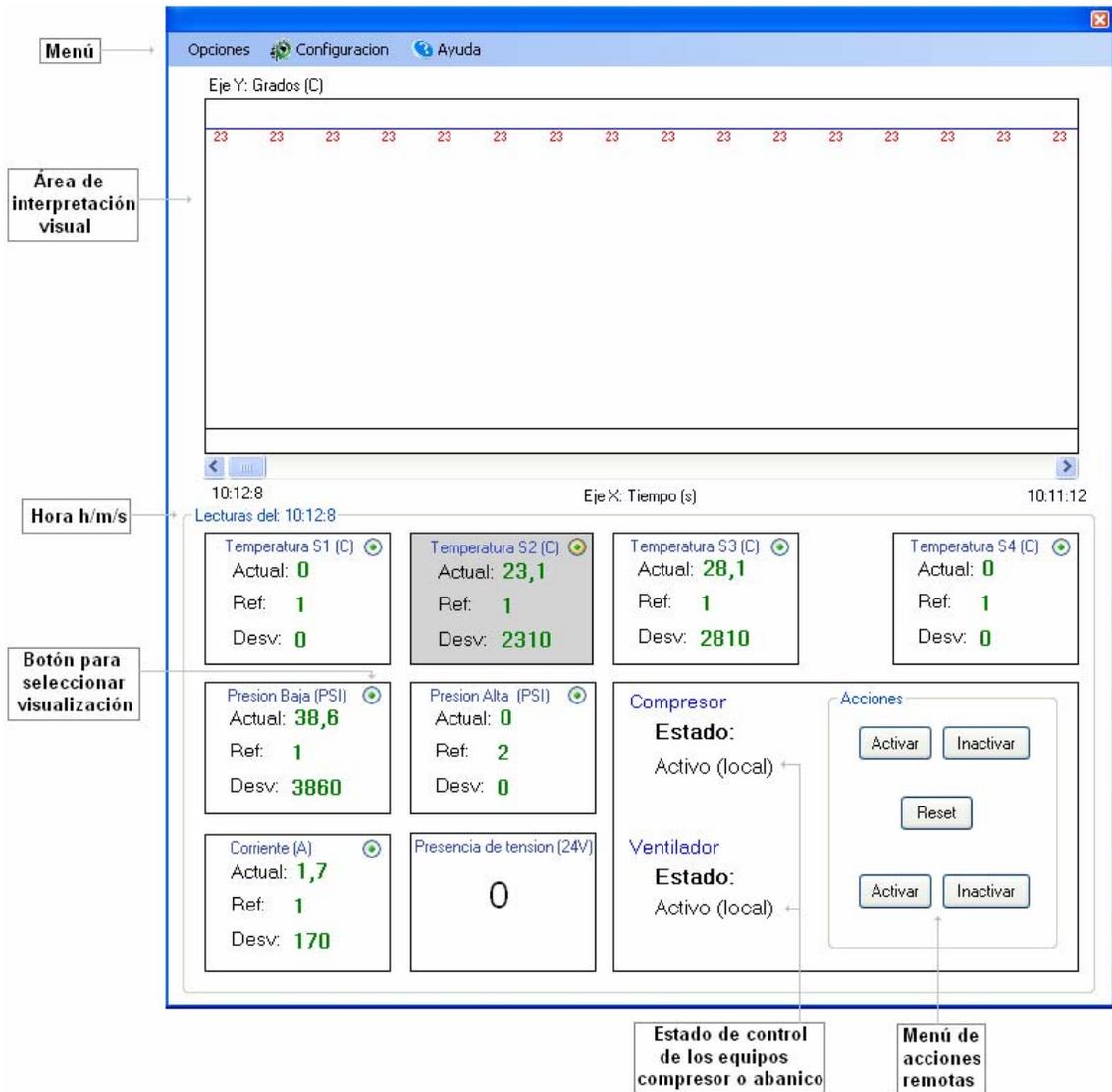


Figura 6-4 Interfaz del software de recepción

El software además de presentar el valor actual de cada sensor cada vez que llega un mensaje de comunicación desde el sistema de supervisión es capaz de mostrar el desvío de la magnitud de cada sensor con respecto a su referencia en porcentaje.

El estado de control de cada equipo, compresor y abanico, es mostrado también, esta información es proporcionada en el mensaje del sistema de vigilancia (ver figura 5-5).

El software es el medio por el cual se pueden ejecutar las pruebas remotas, en la parte inferior derecha de la figura anterior se observa el panel de *Acciones*, desde el cual a través de los 5 botones se pueden realizar pruebas remotas con ambos equipos, el compresor o el abanico. El botón de reset sirve para eliminar las acciones remotas y devolver la potestad de los relés de control al sistema de supervisión controlado por el PIC.

El programa de recepción de datos una vez conectado con el sistema de supervisión, ubicado cerca al sistema de refrigeración, almacena los datos en archivos de texto que contienen los datos actuales, referencias y desvíos de todos los sensores. El sistema crea carpetas que se denominan con la fecha de inicio de la prueba y dentro de esta carpeta se crean 8 archivos con los datos de cada sensor, estos archivos se actualizan en tiempo real al igual que la interfaz del software cada vez que llega un mensaje de comunicación desde el sistema de vigilancia de sistemas de refrigeración.

En la siguiente tabla puede observarse como son almacenados los datos para un sensor; en este caso un sensor de temperatura, así que la magnitud es °C.

Tabla 6-6 Formato de almacenamiento de datos

Valor (°C)		Referencia		Hora		Fecha
22,3	\$	18	\$	9:52:56	\$	27/09/2007
22,8	\$	18	\$	9:52:59	\$	27/09/2007
23,9	\$	18	\$	9:53:01	\$	27/09/2007
24,5	\$	18	\$	9:53:03	\$	27/09/2007
25,1	\$	18	\$	9:53:05	\$	27/09/2007
25,9	\$	18	\$	9:53:08	\$	27/09/2007
27,2	\$	18	\$	9:53:10	\$	27/09/2007
32,0	\$	26	\$	9:53:42	\$	27/09/2007
33,6	\$	26	\$	9:53:45	\$	27/09/2007
34,7	\$	26	\$	9:53:47	\$	27/09/2007
35,9	\$	26	\$	9:53:49	\$	27/09/2007
36,3	\$	26	\$	9:53:52	\$	27/09/2007
36,8	\$	26	\$	9:53:54	\$	27/09/2007
37,6	\$	26	\$	9:53:56	\$	27/09/2007
38,1	\$	26	\$	9:53:58	\$	27/09/2007
38,4	\$	26	\$	9:54:01	\$	27/09/2007
39,1	\$	26	\$	9:54:03	\$	27/09/2007
39,3	\$	26	\$	9:54:05	\$	27/09/2007
40,2	\$	26	\$	9:54:08	\$	27/09/2007

Se pudo lograr la comunicación con un sistema no estandarizado, como este desarrollado con un microcontrolador PIC y una PC normal a través de Ethernet, lo cual es fundamental para la finalidad de este proyecto, más aún si se da seguimiento del mismo a mediano y largo plazo.

En el manual de usuario se especifican las características, funciones y forma de operación de ambos, el software de recepción de datos y ejecución de pruebas y el hardware que conforman el sistema de supervisión de equipos de refrigeración. Las secciones del manual de usuario son las siguientes:

1. Introducción: en esta sección se muestra una definición del sistema de supervisión, también se citan sus características y se enseñan las

precauciones que se deben tener a la hora de instalar y utilizar el equipo de vigilancia.

2. Identificación de partes: en esta sección se explican las partes de hardware, especialmente las conexiones entre la tarjeta principal y los sensores que no conectan a la misma directamente, sino a través de cables.
3. Operaciones Básicas: el funcionamiento normal se expone en este apartado, en la parte de hardware se especifica que esperar en la visualización del LCD, también como entrar a los menues y que esperar del despliegue en caso de ingreso a alguno de ellos.
4. Ajuste y Calibración: el ajuste de calibración y de referencias es explicado en esta sección, se muestra como actualizar valores en estos menues y por último se habla de las limitaciones y riesgos que corren al alterar mucho alguno de estos valores (referencia y/o calibración).
5. Uso del software: en esta sección se explica como interpretar la interfaz del software (ver figura 6-4), además de esto se explica como establecer una conexión con el sistema de supervisión. Se expone como realizar las pruebas remotas con sus limitaciones y riesgos. Por último se detalla como se almacenan e interpretan los datos.
6. Localización de Averías: se especifican pruebas paso a paso para encontrar posibles desperfectos en el funcionamiento del hardware y del software. Para el hardware se detallan principalmente comprobación de fluido eléctrico y de conexión de los sensores en el sistema principal de supervisión. En lo que respecta al software se hace énfasis en establecer la conexión con el hardware.

7. Especificaciones: en esta sección se brindan los datos de los rangos medibles por los sensores, así como características eléctricas del sistema.

6.2 Análisis

La posibilidad de utilizar un sistema de supervisión conlleva poca inversión económica comparada con la confiabilidad que trae la instalación del mismo.

El sistema de supervisión fue implementado de manera modular, lo cual permitió independencia entre la construcción de cada módulo. Ahora cada módulo fue construido dentro de un todo, el mejor ejemplo de esto fue el diseño de las etapas de acondicionamiento de señales de los sensores; como se decidió utilizar sensores analógicos se aprovechó las características de los microcontroladores PIC, específicamente sus entradas analógicas entonces se estableció un recorrido cíclico de las magnitudes tal y como se explica en la sección 5.2.1. Este proceso permitió en gran medida la simplificación del software del microcontrolador ya que el recorrido cíclico se hace por medio de la actualización de visualización y lectura a través de un contador que actualiza al sensor en estudio en determinado instante.

Durante el desarrollo del proyecto las actividades se fueron ejecutando según los componentes disponibles y las prioridades de realización de las mismas. Una de las tareas trabajadas en primera instancia fue el manejo del LCD, ya que por medio de este dispositivo periférico se debe desplegar el estado del sistema de manera constante y veraz, pero no solo eso debía ponerse en marcha de tal manera que no ocupara mucho procesamiento ni tiempo en el PIC.

La ventaja de utilizar el microcontrolador, especialmente con un programa como PIC es la jerarquía que se puede generar a la hora de crear un programa, por lo tanto fue posible crear rutinas que manejaran el LCD de una manera óptima, cargando los

datos directamente en paralelo al LCD para invertir menos tiempo y tomando en cuenta a lo largo de todo el programa detalles como no borrar que texto que se va a reutilizar en el siguiente despliegue o sobrescribir texto que ya se encuentra presente. (Ver sección 5.4.1.7)

Una gran ventaja de tener el control del LCD avanzado o terminado durante el desarrollo del proyecto fue que puede usarse para la ejecución de pruebas, ya que por medio de este modulo se lograron visualizar valores interpretados por el microcontrolador tanto para verificación como para detectar fallas o posibles mejoras no solo en el despliegue de datos, sino también en procesamiento de los mismos.

En lo que respecta al acondicionamiento de las señales de los sensores se presentaron diversas situaciones:

- Los sensores de temperatura se comportaron linealmente tal y como era esperado, el acondicionamiento de estas señales se hizo por medio un OP-AMP monopolar con el fin de ahorrar en gastos y en consumo eléctrico, esto por que no se necesita que los sensores capten temperaturas bajo 0.
- Para los sensores de presión si se presentaron inconvenientes, como estos fueron provistos por el Ingeniero asesor del proyecto en la empresa y eran utilizados en un sistema de medición portátil, no existía total certeza sobre su modo de operación lo cual provocó una etapa de pruebas más extensa. En un principio se había decidido utilizar un amplificador No-Inversor con OP-AMP, sin embargo cuando se realizaron las pruebas de campo se notó un detalle de suma importancia, la salida del sensor no se generaba con respecto a la alimentación del sensor, la salida del sensor es un puente de Wheatstone, por lo cual fue necesaria la utilización de un amplificador

diferencial para producir una salida con referencia a la tierra del circuito total (ver sección 5.3.3). Además de esto se comprobó experimentalmente la presencia de un voltaje de OFFSET al conectar estos sensores y para evitar el incremento en el Hardware se creó el módulo de calibración de sensores en el microcontrolador (ver sección 5.4.1.6).

- Para el sensor de corriente el acondicionamiento de la señal necesitó de un trato especial, ya que el sensor utilizado produce a su salida una onda con la misma forma que la onda que está midiendo, en este caso corriente alterna. Antes de decidir el acondicionamiento se realizaron pruebas con el sensor y resultaron muy exitosas, inclusive en mediciones de baja corriente este sensor resultó más exitoso que amperímetros de la empresa COOLTECH; algo de mucha importancia en estas pruebas fue que se comprobó lo que se consultó al fabricante, al alimentar el sensor con $\pm 12V$ no se dañan las mediciones sino simplemente se acorta el rango de medición. Para preparar la señal del sensor hacia PIC se utilizó una etapa especial que está constituida por un diodo ideal para transformar la corriente alterna en directa y luego un amplificador con un capacitor en su salida para estabilizar la nueva señal de corriente directa. El resultado fue exitoso y la corriente se logró interpretar por el microcontrolador correctamente.
- Para el sensor de tensión no se presentaron problemas sin embargo si se debe acotar que en un principio se había considerado captar también si existía o no presencia de la tensión de 220V o 240V principal, la que alimenta al sistema de refrigeración pero no se hizo por 2 razones:

- Mayor gasto de hardware, más aún en una etapa que conllevaría manejo de tensiones mucho más elevadas a las usadas en el resto del sistema
- Si hay presencia de tensión de 24VAC para los contactores de control implica que hay tensión principal (220V) ya que estos 24V provienen del secundario de un transformador cuyo primario esta conectado a la línea principal.

Las pruebas que se realizaron con este sensor fueron extensas y se comprobó que por medio del aislamiento con un opto acoplador no se genera interferencia entre la etapa de control de corriente alterna y el sistema de monitoreo de baja tensión en corriente directa.

Para la implementación del control principal basado en los requerimientos de hardware especificados en la sección 5.3.7 se escogió como artifice al PIC18F4680. Durante el desarrollo de las diferentes rutinas del sistema que se exponen en la sección 5.4, se presentaron 2 problemas con la relación Compilador – Controlador:

- El manejo de “strings” o uniones de caracteres fue bastante problemático, debieron realizarse pruebas exhaustivas con el manejo de texto más que nada a nivel de recepción, ya que ciertas funciones del CCS Compiler necesitan realizarse muy detalladamente a pesar de que el manual del compilador dice que pueden realizarse más rápidamente con determinados comandos.
- Otro problema fue un conflicto con el puerto donde se encuentra el puerto de comunicación serial del PIC. En este puerto el uso de otros pines como salidas provocó conflictos por lo cual se trató de solucionar el problema por medio de diferentes cambios en la definición del puerto en el software, sin tener resultados

ideales por lo cual se utilizó este puerto como solo de entrada. Por este motivo en este puerto se utilizan los botones de control y no las salidas de control del LCD.

Otro punto vital en el cuerpo del sistema de supervisión es la comunicación. Esta se logró eficazmente, en primera instancia el sistema se probó durante muchas horas solo como transmisor hacia una PC a través del estándar EIA-TIA-232, luego se comprobó el funcionamiento del sistema como receptor bajo el mismo estándar con el inconveniente de los strings citado anteriormente, sin embargo se depuraron las rutinas para corregir los inconvenientes.

Para participar de la comunicación en una red LAN se utilizó el módulo SB-70 que se muestra en la tabla 5.2 y una vez que se contó con este módulo se realizaron pruebas con el sistema de supervisión y de nuevo una PC y a través del programa Hyper Terminal y la aplicación de TELNET se comprobó la comunicación ya en un medio Ethernet.

Confiabilidad del sistema

Se comprobó la fiabilidad del sistema con pruebas de sus múltiples etapas en equipos de refrigeración por períodos extensos de tiempo de entre 3 a 6 horas. Otro punto de mucha importancia con respecto a la confianza en el sistema es que en caso de fallo o de que se decida apagarlo, el control que este pueda ejercer queda cancelado por defecto ya que las señales de control de 24VAC que son interrumpidas por los relés se encuentran conectadas a la Terminal normalmente cerrada lo cual previene que se apague un equipo de refrigeración en caso de fallo del sistema de supervisión.

Para los usuarios y clientes del sistema supervisión se presentan las siguientes ventajas:

- Mejor tiempo de respuesta en caso de averías del sistema de refrigeración

- Notificaciones en tiempo real del funcionamiento del sistema de refrigeración y muy importante también se informa de la temperatura del recinto donde se esta regulando la temperatura
- Ahorro de dinero en supervisión manual de los sistemas de refrigeración y también con la predicción de posibles daños a través de los datos de funcionamiento del sistema

Escalabilidad

Este es un punto de suma importancia en este proyecto. El sistema se diseño de tal manera que se pudiese aumentar la cantidad de sensores sin tener que realizar muchos cambios en la creación de la tarjeta impresa o en el controlador, es decir el controlador podría fácilmente monitorear hasta 11 sensores y tiene no solo la capacidad física sino también la memoria suficiente para expandir el programa, hasta inclusive se podrían agregar nuevas funciones.

En lo que respecta a la conectividad del sistema, se desarrollo para que sea capaz de incorporarse a una red LAN que hasta trabaje con DHCP lo cual le brinda al sistema una mayor compatibilidad con redes existentes.

Mantenimiento preventivo

El sistema de supervisión es ante todo un sistema electrónico por lo cual requiere de cuidados específicos así como de mantenimiento preventivo con el fin de garantizar su buen funcionamiento y evitar que presente averías, curioso por que esa es una de sus funciones para con otro sistema.

El mantenimiento de este sistema es bastante básico y no es necesario que de realice con mucha frecuencia sin embargo es imperativo realizarlo al menos una vez por mes.

Las precauciones que deben tomarse es considerar no exponer el sistema a la intemperie, a mucha humedad ni a pringues de líquidos. Es necesario revisar que el LCD del sistema este actualizando constantemente su información, esto es señal del que el sistema esta ejecutando el proceso de supervisión. Es necesario también revisar las conexiones de los sensores que se estén usando, que no haya cables haciendo falsos contactos o peor aún sueltos.

Es una buena práctica probar la temperatura de los disipadores de calor de la fuente de alimentación, si esta es demasiado elevada puede ser señal de una sobrecarga lo cual requeriría revisión del sistema.

Afortunadamente se puede hacer una prueba básica de mantenimiento si se esta conectado remotamente, por medio de la constante recepción de datos en el software, esto nos informa que el sistema esta trabajando.

Capítulo 7 : Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. A través del recorrido de sensores cíclico, el control principal (PIC) podría ajustarse fácilmente a otro tipo de sensor que se agregara.
2. Se comprobó exitosamente que el sistema puede informar localmente las magnitudes captadas por cada uno de los sensores.
3. Se pudo generar un mensaje de datos que, en un lapso de entre 2 a 3 segundos, envía un informe con los valores de todos los sensores y el tipo de control que se esta ejerciendo sobre el sistema de refrigeración.
4. Se pueden realizar pruebas remotas a través del software del sistema con el fin de apagar o encender el sistema de refrigeración ya sea para acciones definitivas o de prueba por parte del personal técnico.
5. El sistema de adquisición de datos permite tomar el valor de 8 señales analógicas de diferentes rangos de variación, con la posibilidad de que se puedan realizar cambios en el diseño para incluir hasta 3 señales analógicas más.
6. Las rutinas en el PIC controlan en forma eficiente la lectura de datos de los sensores, despliegue de los datos y comunicación con otro sistema (PC) remoto.

7. Se corroboró la operación del sistema y se obtuvieron resultados que cumplen a cabalidad con los requerimientos establecidos por la empresa y con los objetivos del proyecto.

7.2 Recomendaciones

1. Para versiones posteriores es recomendable estudiar la posibilidad de usar sensores digitales con el fin de disminuir el hardware.
2. Brindar un mantenimiento preventivo constante al sistema de supervisión y al supervisado.
3. No realizar conexiones o desconexiones de sensores mientras el sistema se encuentre en funcionamiento.
4. Cuando se instale el equipo de supervisión en un sistema de enfriamiento, esto debe ser realizado por personal capacitado.

Bibliografía

- [1] Butow, E. Your visual blueprint for building .NET applications. 1 ed. Hungry Minds, 2002.
- [2] Cisco Systems, Inc. Guía Del primer año CCNA 1 y 2. 3 ed. Pearson Educación, 2004.
- [3] COOLTECH, S.A. <*Clínica de Aire Acondicionado de Cooltech*> [Documento empresarial].
- [4] Coughlin, R. Circuitos Integrados Lineales y Amplificadores Operacionales. 2 ed. Prentice-Hall Iberoamericana, S.A, 1987.
- [5] ECG, P. ECG semiconductor Master Replacement Guide. 14 ed. Philips ECG, 1987.
- [6] Gardner, N. An introduction to programming the microchip pic in c. 1 ed. Bluebird Electronics, 1998.
- [7] Jamsa, K. Aprenda C++ paso a paso. 1 ed. Alfaomega Grupo Editor S.A, 1996.
- [8] Mouser Electronics. Engineered for Engineers. Mayo – Julio 2007 ed. Mouser Electronics, 2007.
- [9] Reisdorph, K. Teach Yourself C++ Builder. 1 ed. Sams Publishing, 1997.
- [10] Microchip. *PIC18F4680 Data Sheet* [en línea].
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39625c.pdf>> [Consulta: 15 mayo 2007]
- [11] Netburner. *SB70 website* [en línea].
<http://www.netburner.com/products/serial_to_ethernet/sb70.html> [Consulta: 2 julio 2007]
- [12] WinPicProg. *PIC Tutorial Hardware* [en línea].
<http://www.winpicprog.co.uk/pic_tutorial_extras.htm> [Consulta: 10 julio 2007]

Capítulo 8 : Apéndices y Anexos

8.1 Apéndices

Apéndice A.1. Abreviaturas

- ADC: Analog to Digital Converter
- B: byte
- CAS: Circuito Acondicionador de Señales
- DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol
- EEROM: Electrical Erasable Programmable Read Only Memory
- ICE: Instituto Costarricense de Electricidad
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
- IP: número que identifica un dispositivo en una red, a nivel de capa 3 (Modelo OSI)
- ITCR: Instituto Tecnológico de Costa Rica
- LAN: Local Area Network
- LED: Light Emission Diode
- OP-AMP: Operational Amplifier
- PC: Personal Computer
- PIC: Microcontrolador de Interrupciones
- ROM: Read Only Memory

Apéndice A.2. Diagramas de Flujo del programa del Microcontrolador (PIC)

Seguidamente se muestra los diagramas de flujo que representan el código desarrollado en el lenguaje *PIC C* que se utilizó en el microcontrolador PIC18F4680, estos diagramas toman en cuenta los módulos del control total del sistema que fue creado modularmente y manejado primordialmente por máquinas de estado.

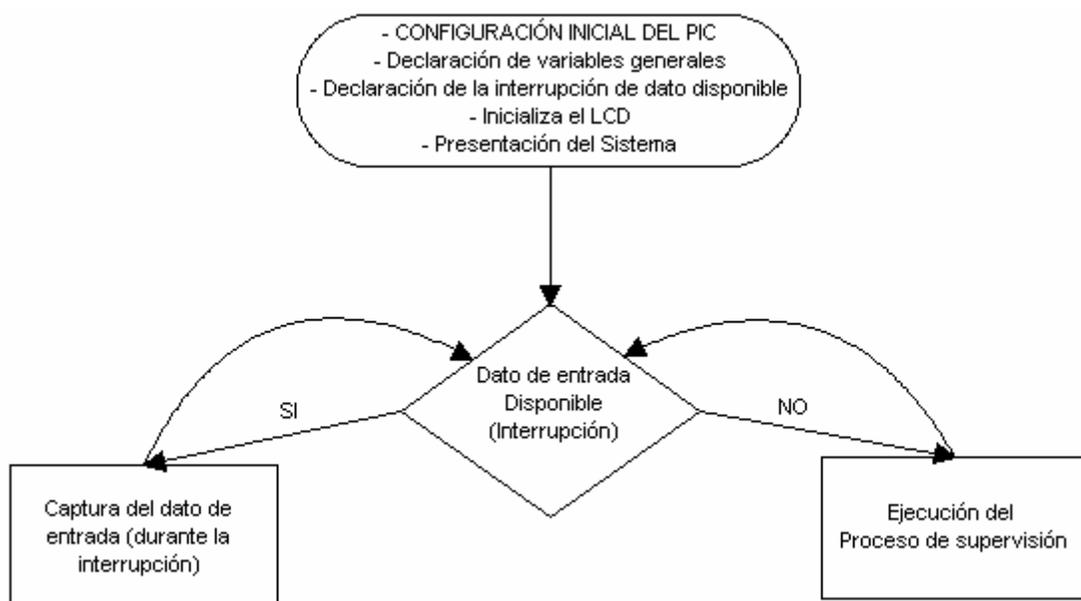


Figura A.2. 1 Diagrama de funcionamiento del sistema de supervisión

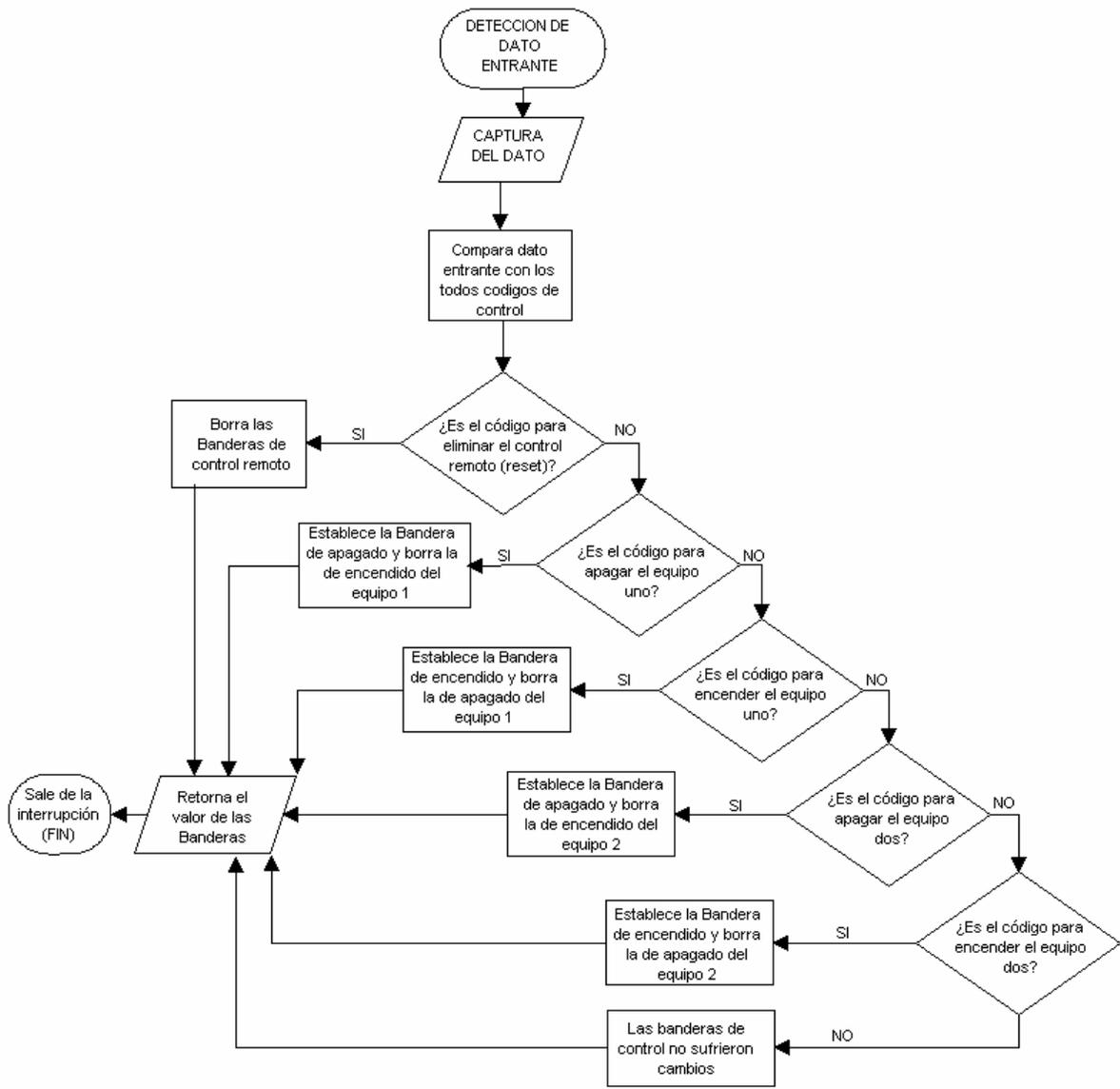


Figura A.2. 2 Diagrama de flujo de atención por entrada datos

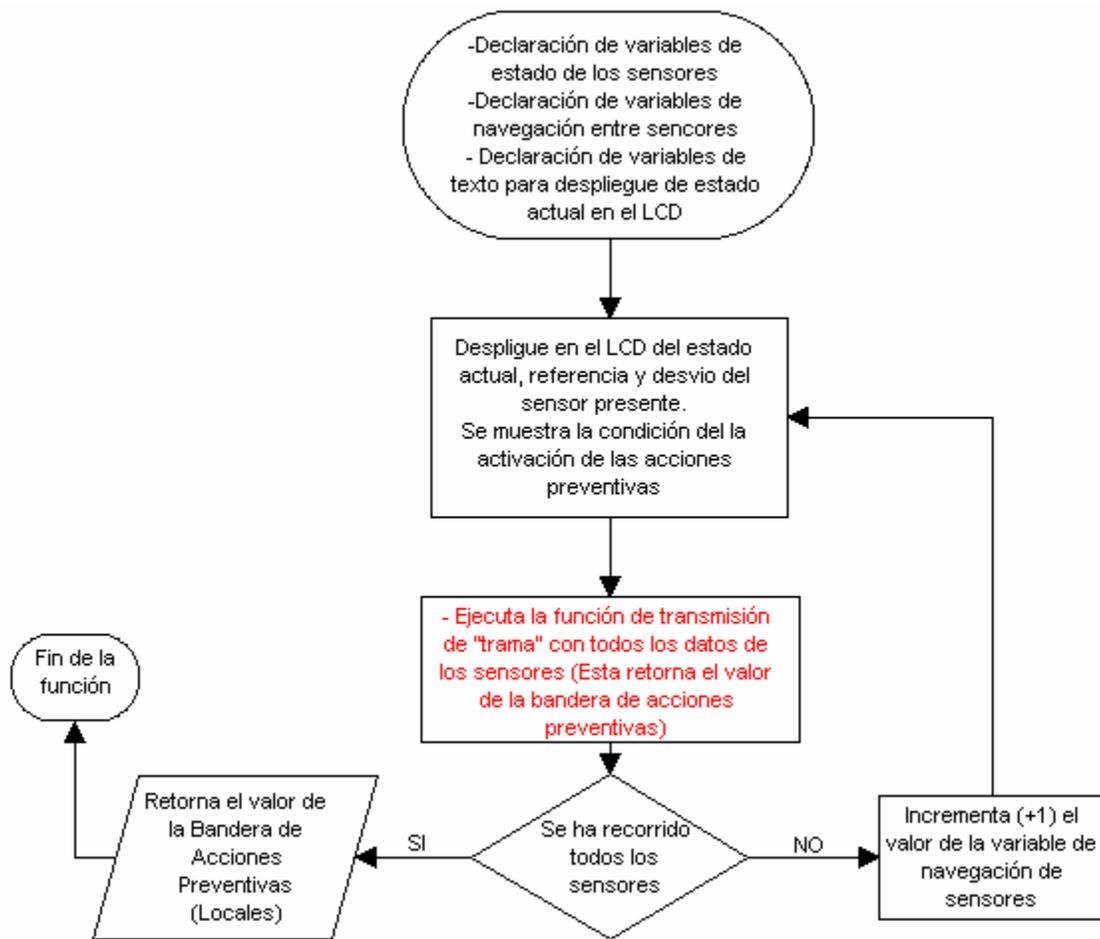


Figura A.2. 3 Diagrama de flujo del módulo Principal y Despliegue

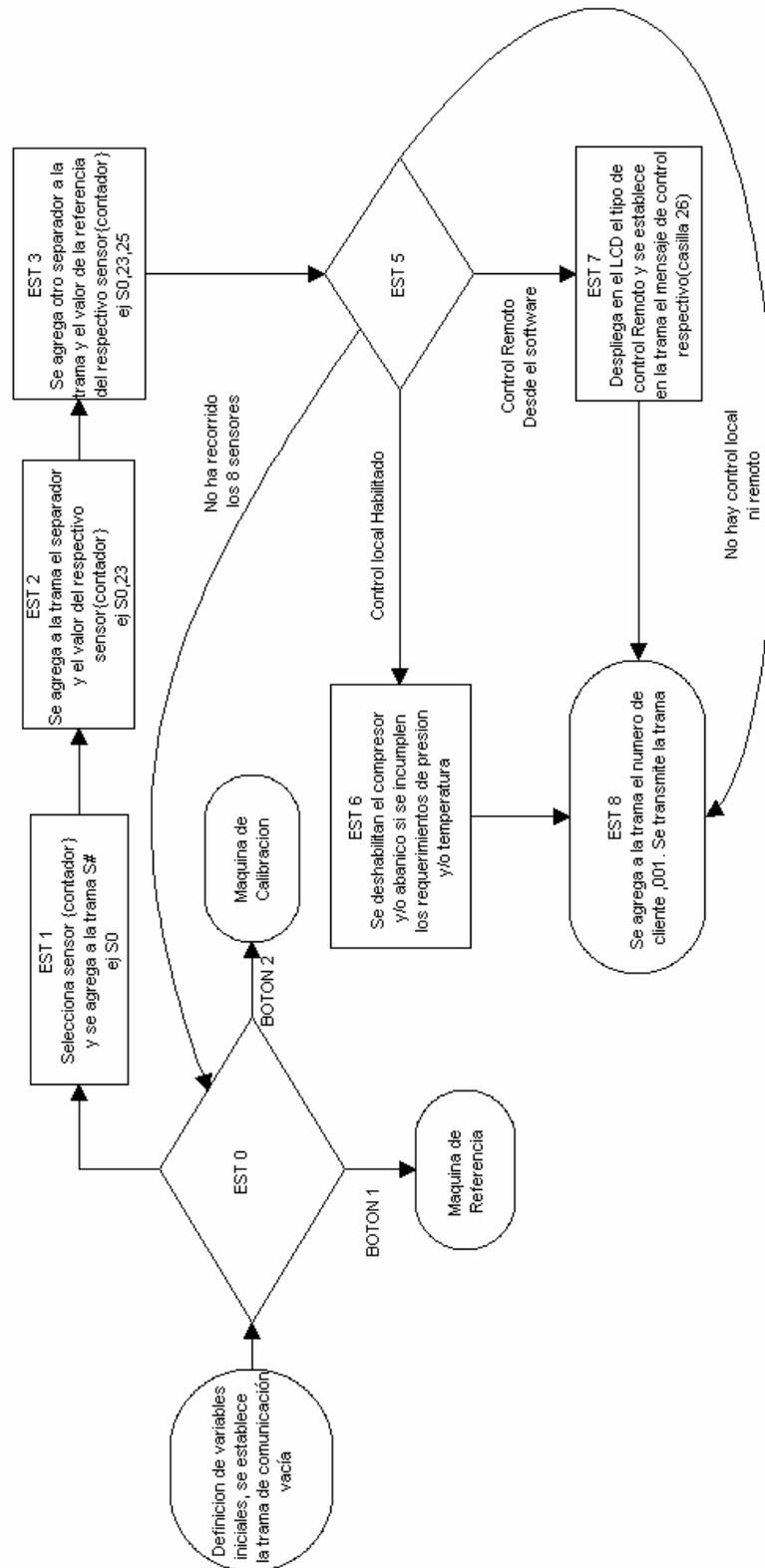


Figura A.2. 4 Diagrama de flujo del módulo Transmite Trama

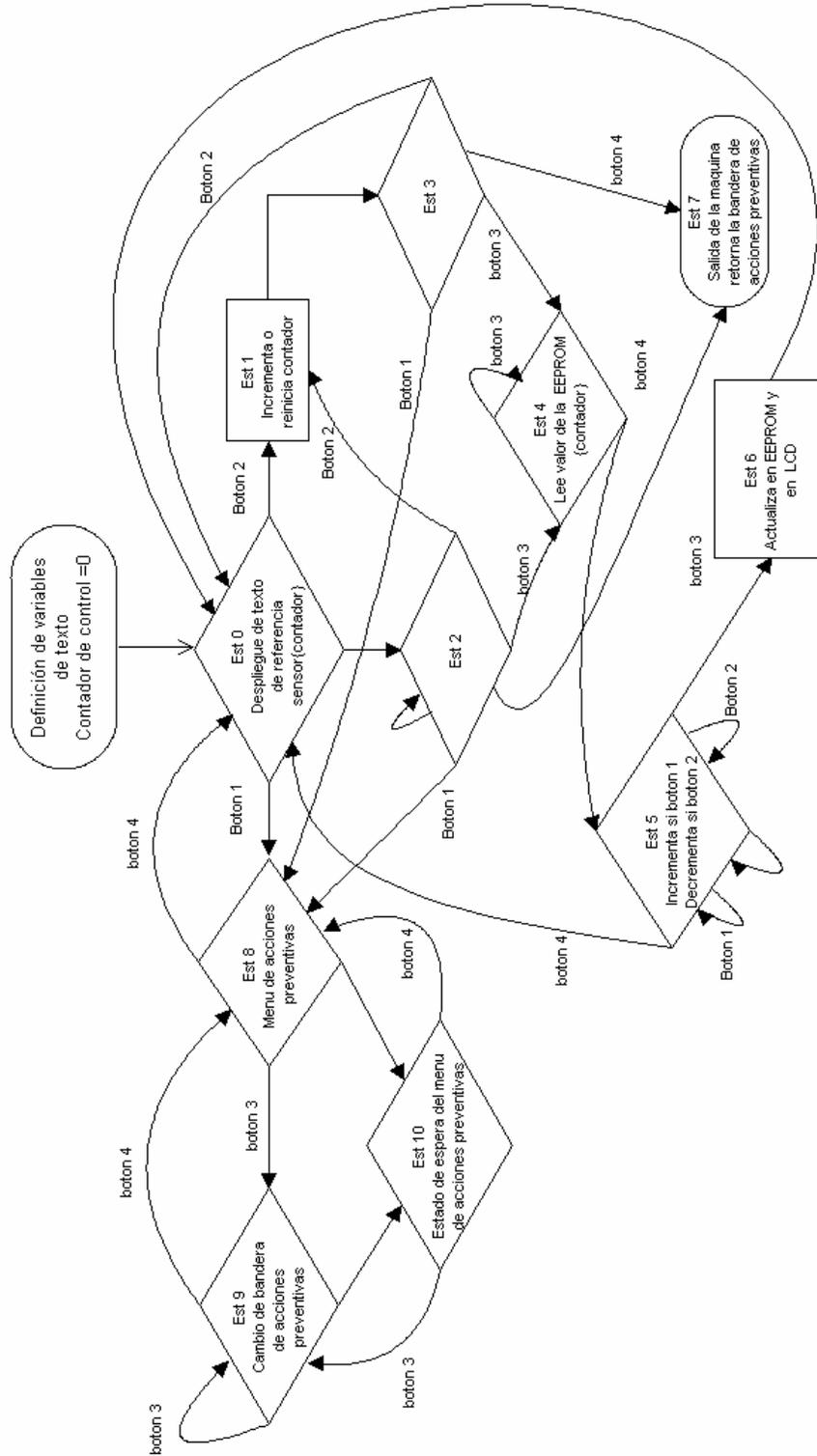


Figura A.2. 5 Diagrama de flujo del Menú de referencias

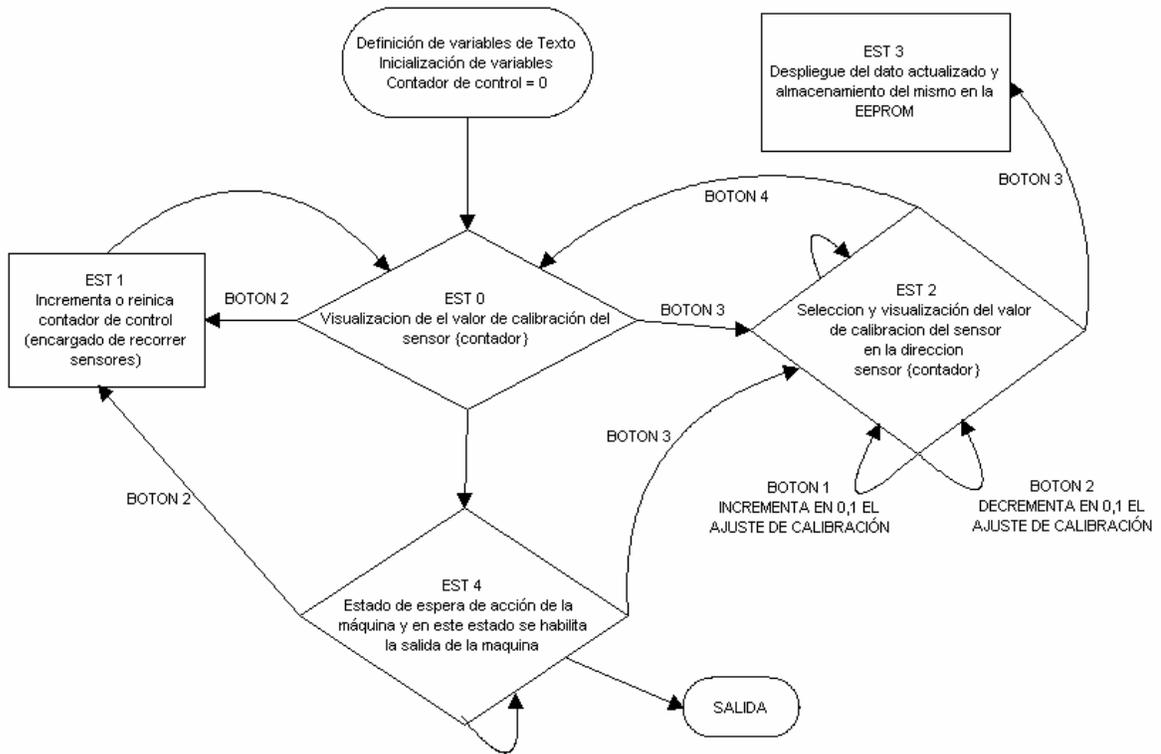


Figura A.2. 6 Diagrama de flujo del menú de Calibración

Apéndice A.3. Programa del software de recepción

```
namespace ProyectoCooltech
{
    class ethernetConnection
    {
        private Socket TCP_client;
        public Thread receivethread;
        public Mutex mutexS;
        public List<Clssensor>[] sensores;
        String receivestring;
        public String estadoE1;
        public String estadoE2;
        public fileSystem archivo;
        public ethernetConnection(List<Clssensor>[] sensores,String nombreCarpeta)
        {
            this.archivo = new fileSystem(nombreCarpeta);
            this.mutexS =new Mutex(true);
            this.sensores = sensores;
            this.estadoE1 = "";
            this.estadoE2= "";
        }
        public void Conectar(String ip, int puerto)
        {
            IPEndPoint webioep = new IPEndPoint(IPAddress.Parse(ip), puerto);
            TCP_client = new Socket(AddressFamily.InterNetwork, SocketType.Stream, ProtocolType.Tcp);
            try
            {
                TCP_client.Connect(webioep);
            }
            catch (Exception)
            {
                MessageBox.Show("Error el dispositivo esta apagado","Error",MessageBoxButtons.OK);
            }
        }
        public void Desconectar ()
        {
            try{receivethread.Abort();}
            catch (Exception){}
            try{TCP_client.Disconnect(false);}
            catch (Exception){}
        }
        public void Send(String dato)
        {
            try
```

```

        {
            byte[] senddata=System.Text.Encoding.ASCII.GetBytes(dato);
            TCP_client.Send(senddata);
        }
        catch (Exception)
        {
            MessageBox.Show("Error el dispositivo esta apagado", "Error", MessageBoxButtons.OK);
        }
    }
    public void Recibir()
    {
        try
        {
            receivethread = new Thread(Hilorecibir);
            receivethread.Priority = ThreadPriority.Normal;
            receivethread.Start();
        }
        catch (Exception)
        {
            MessageBox.Show("Error el dispositivo esta apagado", "Error", MessageBoxButtons.OK);
        }
    }
}

private void Hilorecibir()
{
    byte[] receivebytes=new byte[1024];
    int receivebytescount=-1;
    while (true)
    {
        try
        {
            receivebytes = new byte[1024];
            receivebytescount = TCP_client.Receive(receivebytes);
        }
        catch (Exception)
        {
            receivethread.Abort();
        }
        if (receivebytescount != 0)
        {
            receivestring = System.Text.Encoding.ASCII.GetString(receivebytes, 0, receivebytescount);
            UpdateStructure();
        }
    }
}

```

```

private void UpdateStructure()
{
    char[] separadores={' ','\t'};
    int inicio=receivestring.IndexOf('T');
    int final = receivestring.IndexOf('\r');
    if(inicio!=-1 || final!=-1)
        return;
    String[] tokens = receivestring.Substring(inicio,final).Split(separadores);

    //CT S0,166.44,R164,S1,26.19,164,S2,166.44,164,S3,122.18,164
    if(tokens.Length>=sensores.Length){
        float valor=0;
        int gvalor=0;
        int referencia=0;
        int i=1;
        int cual=0;
        while(i<=sensores.Length*3){
            tokens[i] = tokens[i].Replace('.', ',');
            valor = float.Parse(tokens[i]);
            gvalor = Int32.Parse(((double)Math.Truncate(Double.Parse(tokens[i]))) .ToString());
            referencia=Int32.Parse(tokens[i+1]);
            sensores[cual].Insert(0,new Clssensor(valor,referencia,new Point(0,gvalor)));
            archivo.GuardarValor(cual, valor.ToString(), referencia.ToString());
            i=i+3;
            cual++;
        }
    }

    if (tokens.Length>=24)
    {
        switch(tokens[24]){
            case "0":
                estadoE1="Activo (local)";
                estadoE2="Activo (local)";
                break;
            case "1":
                estadoE1="Inactivo (local)";
                estadoE2="Activo (local)";
                break;
            case "2":
                estadoE1="Activo (remoto)";
                estadoE2="Activo (local)";
                break;
            :
            :
            :
        }
    }
}

```

```
case "12":
    estadoE1="Activo (local)";
    estadoE2="Inactivo (remoto)";
    break;
case "13":
    estadoE1="Inactivo (local)";
    estadoE2="Inactivo (remoto)";
    break;
case "14":
    estadoE1="Activo (remoto)";
    estadoE2="Inactivo (remoto)";
    break;
case "15":
    estadoE1="Inactivo (remoto)";
    estadoE2="Inactivo (remoto)";
    break;
}
}
}
}
```

```

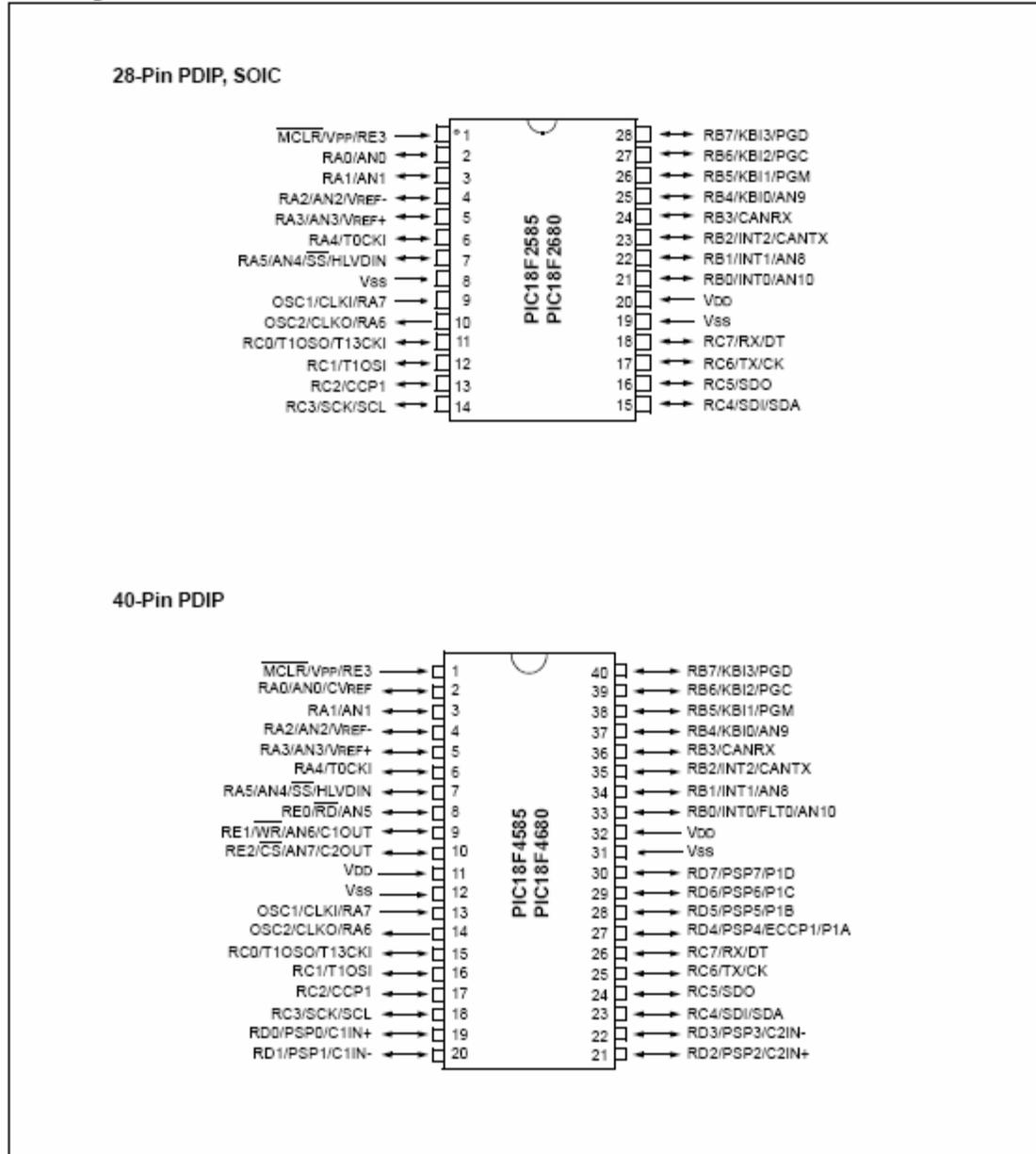
- namespace ProyectoCooltech
- {
-     class fileSystem
-     {
-         private String ruta = "c://";
-         private String[] archivos;
-         public fileSystem(String nombreCarpeta)
-         {
-             ruta = ruta + nombreCarpeta + "/";
-             try
-             {
-                 DirectoryInfo dir = new DirectoryInfo(ruta);
-                 dir.Create();
-             }
-             catch (Exception) {
-                 MessageBox.Show("Error al crear la carpeta de historial: " + ruta);
-             }
-             archivos=new String[8];
-             archivos[0]="sensor0.txt";
-             archivos[1]="sensor1.txt";
-             archivos[2]="sensor2.txt";
-             archivos[3]="sensor3.txt";
-             archivos[4]="sensor4.txt";
-             archivos[5]="sensor5.txt";
-             archivos[6]="sensor6.txt";
-             archivos[7]="sensor7.txt";
-         }
-         public void GuardarValor(int cualS,String valor,String referencia)
-         {
-             try
-             {
-                 StreamWriter sw = new StreamWriter(ruta+archivos[cualS],true);
-                 DateTime m = DateTime.Now;
-                 String fecha = m.Day + "/" + m.Month + "/" + m.Year;
-                 String hora = m.Hour + ":" + m.Minute + ":" + m.Second;
-                 sw.WriteLine(valor + "$" + referencia + "$" + hora + "$" + fecha);
-                 sw.Close();
-             }
-             catch (Exception) { }
-         }
-     }
- }
- }
- }

```

8.2 Anexos

Anexo B.1. Hoja de datos PIC18F4680

Pin Diagrams



PIC18F2585/2680/4585/4680

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

- PIC18F2585
- PIC18F2680
- PIC18F4585
- PIC18F4680

This family of devices offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price – with the addition of high-endurance, Enhanced Flash program memory. In addition to these features, the PIC18F2585/2680/4585/4680 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high-performance, power sensitive applications.

1.1 New Core Features

1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F2585/2680/4585/4680 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be reduced by as much as 90%.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled but the peripherals still active. In these states, power consumption can be reduced even further, to as little as 4% of normal operation requirements.
- **On-the-fly Mode Switching:** The power managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power-saving ideas into their application's software design.
- **Lower Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer have been reduced by up to 80%, with typical values of 1.1 and 2.1 μA , respectively.
- **Extended Instruction Set:** In addition to the standard 75 instructions of the PIC18 instruction set, PIC18F2585/2680/4585/4680 devices also provide an optional extension to the core CPU functionality. The added features include eight additional instructions that augment indirect and indexed addressing operations and the implementation of Indexed Literal Offset Addressing mode for many of the standard PIC18 instructions.

1.1.2 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F2585/2680/4585/4680 family offer ten different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- Four Crystal modes, using crystals or ceramic resonators
- Two External Clock modes, offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O)
- Two External RC Oscillator modes with the same pin options as the External Clock modes
- An internal oscillator block which provides an 8 MHz clock ($\pm 2\%$ accuracy) and an INTRC source (approximately 31 kHz, stable over temperature and V_{DD}), as well as a range of 8 user selectable clock frequencies, between 125 kHz to 4 MHz, for a total of 8 clock frequencies. This option frees the two oscillator pins for use as additional general purpose I/O.
- A Phase Lock Loop (PLL) frequency multiplier, available to both the high-speed crystal and internal oscillator modes, which allows clock speeds of up to 40 MHz. Used with the internal oscillator, the PLL gives users a complete selection of clock speeds, from 31 kHz to 32 MHz – all without using an external crystal or clock circuit.

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fail-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low-speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset, or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available.

Anexo B.2. SB70 (Serial-to-Ethernet)

SB70

Features

- Instantly allows any serial device to communicate over a network or the Internet
- Two serial ports
- Development kit available. The SB70 can be used as a single board computer for custom applications
- Includes TCP/IP, Telnet, SNMP*, and Web Server (HTTP)
- Supports TTL
- Web page configuration
- Powerful 32-bit Freescale ColdFire processor with integrated 10/100 Ethernet MAC
- 512K Flash, 2MBytes SDRAM

*SNMP support through factory application

SB70

NetBurner's Low Cost High Performance Serial to Ethernet Board

Introduction

The SB70 is a low cost, high performance single board computer that networkenables both existing and new product designs with 10/100BaseT Ethernet. Based on the Freescale ColdFire 5270 32-bit processor with an integrated 10/100 Ethernet MAC, the SB70 has plenty of horsepower for the most demanding applications (rated at 141 MIPFS with 147.5 MHz clock).

Network Enable Existing Applications

The SB70 network enables serial devices right out of the box. No programming or development is required. The SB70 is pre-programmed to convert TTL data to Ethernet, enabling communication with the serial device over a network or the Internet. The onboard web server provides easy device configuration using a standard web browser.

Network Enable New Applications

Mount the SB70 on an application-specific motherboard, and you have a powerful processing platform that can function as the control processor for the product, or as a serial to Ethernet converter.

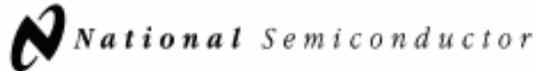
Customize to Suit Any Application

The SB70 development kit enables you to quickly and easily create custom applications. NetBurner has a solid reputation for developing platforms facilitating rapid product development; The SB70 is no exception. The SB70 development kit includes the hardware platform, TCP/IP Stack, uC/OS Real-time operating system, Web Server, GNU C/C++ compiler and linker, GDB graphical debugger, end-user device configuration and flash update utilities, and much more. See the NetBurner Serial to Ethernet Data-sheet for more information or visit www.NetBurner.com.

Real 32-bit Performance

The SB70 is the leader for low cost, high performance embedded networking. While other products in this price range are 8-bit processors with small amounts of paged memory and limited performance, the Freescale ColdFire 5270 is a full 32-bit high performance processor. The SB70 has 2MBytes of SDRAM providing plenty of space for applications and buffering.

Anexo B.3. LM35



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in $^{\circ}$ Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ over a full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range ($\sim 10^{\circ}$ with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^{\circ}$ Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^{\circ}\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

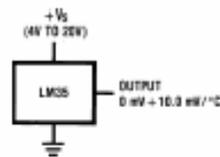
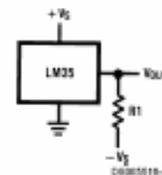


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($\pm 2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{out}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Anexo B.4. MSP300-500-2

MSP 300

Stainless Steel Isolated Pressure Transducer



**Low Cost OEM; 100% Leak Proof
No "O" Rings, No Silicon Oil, No Welds**

The MSP 300 series pressure transducers from the Microfused™ line of MEAS, set a new price-performance standard for low cost, high volume, commercial and industrial applications. This series is suitable for measurement of liquid or gas pressure, even for difficult media such as contaminated water, steam, and mildly corrosive fluids.

The transducer pressure cavity is machined from a solid piece of 17-4 PH stainless steel. The standard version includes a 1/4 NPT pipe thread allowing a leak-proof, all metal sealed system. There are no o-rings, welds or organics exposed to the pressure media. The durability is excellent.

MEAS proprietary Microfused™ technology, derived from demanding aerospace applications, employs micromachined silicon piezoresistive strain gages fused with high temperature glass to a stainless steel diaphragm. This approach achieves media compatibility simply and while

elegantly providing an exceptionally stable sensor without the p-n junctions of conventional micromachined sensors.

This product is geared to the OEM customer using medium to high volumes. The standard version is suitable for many applications, but the dedicated design team at our Transducer Engineering Center stands ready to provide a semi-custom design where the volume and application warrants.



FEATURES

- ◆ One-Piece Stainless Steel Construction
- ◆ Ranges up to 10,000 PSI or 700 BAR
- ◆ Millivolt or Amplified Outputs
- ◆ Excellent Accuracy
- ◆ Wide Operating Temperature Range

APPLICATIONS

- ◆ Pumps and Compressors
- ◆ Hydraulic/Pneumatic Systems
- ◆ Automotive Test Systems
- ◆ Energy and Water Management
- ◆ Pressure Instrumentation
- ◆ Refrigeration - Freon and Ammonia Based
- ◆ Agriculture - Sprayers and Dusters

environmental performance

Operating temperature range	-4 to 185°F (-20 to 85°C), (For other temperature ranges consult factory)
Compensated temperature range	30 to 130°F (0 to 55°C)
Zero thermal error	<±2% of FS
Span thermal error	<±2% of FS
Storage temperature range	-40 to 185°F (-40 to 85°C)
Shock	50g, 11msec half sine shock per MIL standard 202F, method 213 B, condition A
Vibration	±20g MIL-STD-810C, Procedure 514.2, Figure 514.2-2, curve L

measurement
SPECIALTIES

mechanical specifications

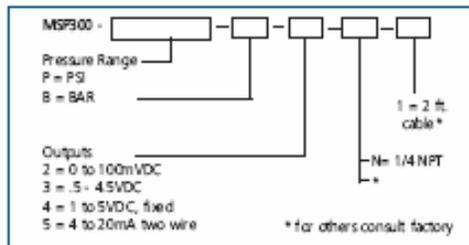
Performance at 77° F (25° C)

Pressure range	0 to 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10000 PSI (0 to 7, 17, 35, 70, 175, 350, 700 BAR) (For additional ranges consult factory)
Accuracy (combined linearity, hysteresis and repeatability)	<1% of FS (for higher accuracy consult factory)
Media compatibility	17-4 PH stainless steel (for other material consult factory)
Pressure ports	1/4" NPT (for other ports consult factory)
Pressure cycles	> 10 ⁸ full pressure cycles
Pressure overload	2X rated pressure
Burst pressure	5X or 20000 PSI whichever is less
Long term stability (1 year)	±0.25% FS (Typical)

Electrical:

Supply voltage	5VDC	10-30VDC
Supply current	<10mA	<15mA
Outputs	0-100mVDC, ratiometric to supply (2) 1-5VDC, fixed (4)	0.5-4.5VDC, ratiometric to supply (3) 4-20mA, two wire (5)
Interface	2 ft. of PVC jacketed cable (for other options consult factory)	
Zero offset	±3% of FS for 0-100mV/±2% for amplified (for tighter tolerances consult factory)	
Span tolerance	±2% of FS (for tighter tolerances consult factory)	
Output load	1M Ohm for millivolt output/ 5K Ohm min for high level voltage	
	0 Ohms @ 10V (1000 ohms @ 30V) for 4-20mA	
Noise	<2mVRMS - for amplified	
Bandwidth (-3dB)	DC to 1KHz - for amplified	

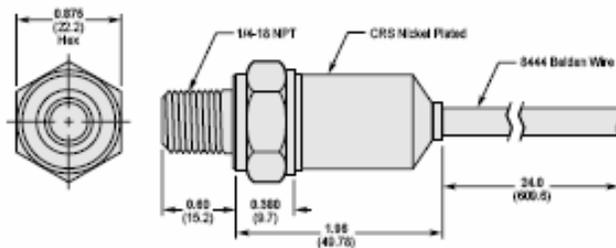
ordering information



Electrical Connections:

Outputs: 2	3/4	5
Red +Supply	Red +Supply	Red +Supply
Black -Supply	Black Ground	Black Return
White -Output	White Output	
Green +Output		

mechanical dimensions



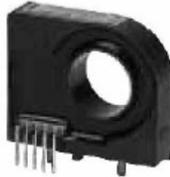
measurement
SPECIALTIES

Anexo B.5. Tamura L08P100D15



Hall Effect Current Sensors

50 to 200 Amp Applications — Open Loop



- Compact PCB Mount Design
- Voltage Output type
- CE EN50178 (pending)

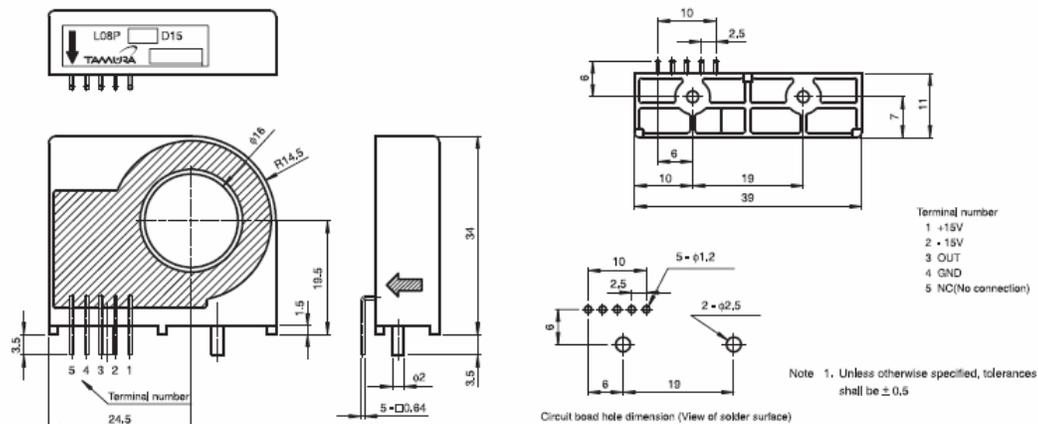
Specifications Measured at 25°C, RL=10KΩ, Vcc=±15V

Specification	L08P050D15	L08P100D15	L08P150D15	L08P200D15
Nominal Primary DC Current (If)	50AT	100AT	150AT	200AT
Maximum Current $I_{f(max)}$	±150AT	±300AT	±350AT	±350AT
Output Voltage @ If	V_{OUT} 4V			
Offset Voltage V_{OE}	<±40mV			
Accuracy @ If ²	X ±1% of If			
Output Linearity ² (0..If MAX)	E ±±1% of If			
Power Supply Vcc	±15V±5%			
Response Time t _r	<10μ Sec			
Current Consumption I _c	12mA typ			
Output Temperature Characteristic TCE _G	<±0.1% / °C	<±0.05% / °C		
Offset Temperature Characteristic V _{OT}	<±2mV / °C	<±1mV / °C		
Hysteresis Allowance @ If=0 V _{OH}	< ±30mV		<± 20mV	
Withstand Voltage (50/60Hz) V _d	2,500VACrms for 1 minute (Sensing Current 0.5mA)			
Insulation Resistance @ 500VDC R _{IS}	≥500MΩ			
Operating Bandwidth ¹ (-3dB) f	DC - 50kHz			
Operating Temperature T _A	-10 - +80°C			
Storage Temperature T _s	-20 - +85°C			

¹ Small signal only; derating needed to avoid excessive core heating at high frequency

² Without offset

QTY/Box	Weight/each(g)
50	25



TAMURA CORPORATION

Anexo B.6. NTE 987



ELECTRONICS, INC.
44 FARRAND STREET
BLOOMFIELD, NJ 07003
(973) 748-5089

NTE987/NTE987SM Integrated Circuit Quad, Low Power OP Amp

Description:

The NTE987 and NTE987SM are low cost quad operational amplifiers with true differential inputs. These have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3V or as high as 32V with quiescent currents about one fifth of those associated with the NTE941 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

Features:

- Available in 14-Lead DIP (NTE987) and Surface Mount, SOIC-14 (NTE987SM)
- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3V to 32V
- Four Amplifiers per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pin-Outs

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

Power Supply Voltages	
Single Supply, V_{CC}	32V
Split Supplies, V_{CC} V_{EE}	$\pm 16\text{V}$
Input Differential Voltage Range (Split Power Supplies), V_{IDR}	$\pm 32\text{V}$
Input Common Mode Voltage range, V_{ICR}	-0.3 to 32V
Input Forward Current ($V_I < 0.3\text{V}$, Note 1), I_{IF}	50mA
Output Short Circuit Duration, t_S	Continuous
Operating Junction Temperature, T_J	$+150^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range, T_A	0° to $+70^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, T_{stg}	-55° to $+125^\circ\text{C}$

Note 1. This input current will only exist when the voltage is negative at any of the input leads. Normal output states will reestablish when the input voltage returns to a voltage greater than -0.3V .

Anexo B.7. NTE 858



ELECTRONICS, INC.
44 FARRAND STREET
BLOOMFIELD, NJ 07003
(973) 748-5089

NTE858M NTE858SM Integrated Circuit Dual, Low-Noise JFET-Input Operational Amplifier

Description:

The NTE858M and NTE858SM are dual, low-noise JFET input operational amplifiers combining two state-of-the-art linear technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The BIFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents. Moreover, these devices exhibit low-noise and low harmonic distortion making them ideal for use in high-fidelity audio amplifier applications.

Features:

- Available in Two Different Package Types:
 - 8-Lead Mini DIP (NTE858M)
 - SOIC-8 Surface Mount (NTE858SM)
- Low Input Noise Voltage: 18nV/√Hz Typ
- Low Harmonic Distortion: 0.01% Typ
- Low Input Bias and Offset Currents
- High Input Impedance: $10^{12}\Omega$ Typ
- High Slew Rate: 13V/μs Typ
- Wide Gain Bandwidth: 4MHz Typ
- Low Supply Current: 1.4mA per Amp

Absolute Maximum Ratings:

Supply Voltage	
V_{CC}	+18V
V_{EE}	-18V
Differential Input Voltage, V_{ID}	±30V
Input Voltage Range (Note 1), V_{IDR}	±15V
Output Short-Circuit Duration (Note 2), t_S	Continuous
Power Dissipation, P_D	680mW
Derate Above $T_A = +47^\circ\text{C}$	10mW/°C
Operating Ambient Temperature Range, T_A	0° to +70°C
Storage Temperature Range, T_{stg}	-65° to +150°C

Note 1. The magnitude of the input voltage must not exceed the magnitude of the supply voltage or 15V, whichever is less.

Note 2. The output may be shorted to GND or either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that power dissipation ratings are not exceeded.