



---

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

DISEÑO Y REALIZACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL  
DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALEFACCIÓN DE UN  
INVERNADERO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A N  
IGNACIA NATALY LUCIO MORALES  
ÁNGEL JIMENÉZ ORTÍZ

ASESOR: DR. VIRGILIO LÓPEZ MORALES

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO. AGOSTO DE 2008

# Agradecimientos

ÁNGEL

Hoy después de un tiempo de esfuerzo y de haber alcanzado una más de las metas de mi vida, llega el momento en el que hay que hacer una mirada hacia el camino recorrido y descubro que hay tantas personas que siempre han estado a mi lado para apoyarme y darme fuerzas y aliento para seguir adelante.

Agradezco a mi Amelia Ortiz Rodríguez, mi madre, que siempre me ha motivado para luchar por mis sueños, a mis hermanos Emmanuel y Brenda que siguen siendo un pilar en mi vida, por el apoyo incondicional que me brindan, a mi nueva familia, Xochitl mi esposa y mi hijo Ian que son la motivación para seguir adelante. Hay personas que no se pueden olvidar, aquellas quienes han contribuido de buena manera para mi superación personal y que fuera de ser solo compañeros y maestros son también fuente de apoyo en la escuela y en la vida cotidiana y muchas veces complemento de parrandas; NATALY,

OSCAR , VICTOR ALFONSO , NERIA ,  
PAGÜIS, DAVID ARTURO, LOS PEREZ

Y TODOS LOS OLVIDADOS QUE

AHORITA NO ME ACUERDO; AL

DOCTOR VIRGILIO POR AGUANTAR

Y AGUANTAR Y AGUANTARNOS , PERO  
AL FIN YA ESTUVO

Quisiera agradecer a Dios por todo lo que

me ha dado , por estar aqui , y por tener a mi  
familia.

A mis abuelos maternos, Felipa y Antonio;

a mis abuelos paternos, Lucrecia y Teodulo

que han sido parte importante en mi

crecimiento y siempre me han apoyado en todo,  
muchas gracias!!.

A mis padres Emma e Ignacio por

apoyarme incondicionalmente tanto

economica como moralmente, gracias por

dejarme crecer y darme la libertad para

alcanzar mis sueños. Para ustedes mi eterno  
agradecimiento. GRACIAS!!!

A mis hermanas, Adriana, por ese carácter

tan tierno que tiene, por su paciencia,

compresión y por aguantar mi genio, a

Laura por esas largas conversaciones, por

ser mi confidente y por las risas. Gracias

sistas por ser mis compañeras de juego , por  
hacer mi niñez feliz.

A mis primas Lizbeth , Nubia , Nadia por todo  
su apoyo.

A mis amigos Oscar, Ulises, Neria, Pawis por todos los momentos agradables, las parrandas, pero sobre todo por las horas de estudio, por apoyarme, por ser parte importante en mi formación como profesionista y porque llegamos a la meta juntos .

Quisiera también agradecer a esa personita que ha llenado mi alma y que ha estado siempre cuando lo he necesitado, por ayudarme y apoyarme, por sus consejos y sobre todo por creer en mi sueños. Por toda la ayuda y colaboración para la realización de este proyecto de tesis . Muchas Gracias Oscar!!!

Por último quisiera agradecer a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo a todos los profesores que fueron parte importante en mi formación profesional, al Doctor Virgilio por su paciencia, por la ayuda y por sus consejos para la realización de este proyecto.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del Problema . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	1
1.3. Justificación . . . . .	2
1.4. Estado del Arte . . . . .	2
1.5. Organización de la Tesis . . . . .	4
<b>2. Sistema Mínimo y Comunicación Serial</b>	<b>7</b>
2.1. Sistema Mínimo . . . . .	7
2.1.1. Microcontrolador PIC16F877A . . . . .	7
2.1.2. Características del PIC 16F877A . . . . .	8
2.1.3. Recursos del PIC16F877A . . . . .	10
2.1.4. Herramientas de Software y Hardware . . . . .	16
2.2. Comunicación Serial . . . . .	19
2.2.1. Protocolo de Comunicación RS-232 . . . . .	19
2.2.2. MAX 232 . . . . .	22
<b>3. Sistema de Calefacción</b>	<b>23</b>
3.1. Componentes del Calefactor . . . . .	23
3.1.1. Armazón del Calefactor . . . . .	23
3.1.2. Ventilador . . . . .	24
3.1.3. Electroválvula . . . . .	25
3.2. Circuitos Electrónicos . . . . .	26
3.2.1. Diseño del Acondicionador de Temperatura . . . . .	26
3.2.2. Sensor de Flama . . . . .	37
3.2.3. Circuito de Encendido por Arco Eléctrico . . . . .	39
3.2.4. Etapa de Acoplamiento y Potencia . . . . .	43
<b>4. Instrumentación Virtual (LabVIEW)</b>	<b>45</b>
4.1. Definición de LabVIEW . . . . .	45
4.2. Conceptos Básicos . . . . .	46
4.2.1. Instrumentos Virtuales . . . . .	46
4.2.2. Controles e Indicadores . . . . .	46

---

4.2.3. Terminales . . . . .	47
4.2.4. Alambres . . . . .	47
4.2.5. Unión . . . . .	47
4.2.6. Panel Frontal y Diagrama de Bloques . . . . .	47
4.3. Menú de LabVIEW . . . . .	49
4.3.1. Controles de Ejecución . . . . .	54
4.4. LabVIEW VISA . . . . .	55
4.4.1. Programación de NI-VISA . . . . .	56
<b>5. Pruebas del Sistema Calefactor</b>	<b>61</b>
5.1. Instrumentación Virtual . . . . .	61
5.1.1. Escenario Normal . . . . .	61
5.1.2. Escenario Anormal . . . . .	66
<b>6. Instrumentación, Codificación y Pruebas del Sistema</b>	<b>69</b>
6.1. Programa en C . . . . .	69
6.2. Instrumentación Virtual . . . . .	75
6.3. Pruebas del Sistema Calefactor . . . . .	81
6.3.1. Escenario Normal . . . . .	81
6.3.2. Escenario Anormal . . . . .	85
<b>7. Conclusiones</b>	<b>89</b>
7.1. Cualidades y Virtudes del Sistema . . . . .	89
7.2. Características Físicas del Sistema . . . . .	89
7.3. Ventajas del Sistema . . . . .	90
7.4. Limitaciones del Sistema . . . . .	90
7.5. Trabajos a Futuro . . . . .	90
<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>
<b>A. Fichas Técnicas</b>	<b>93</b>
<b>B. Fotos del Calefactor</b>	<b>127</b>

---

# Índice de figuras

2.1. Diagrama del PIC16F877A . . . . .	10
2.2. Estructura Interna de ADCON0 . . . . .	12
2.3. Conversión de Reloj y Velocidad de Conversión Equivalente . . . . .	12
2.4. Estructura Interna de ADCON1 . . . . .	12
2.5. Estructura Interna del Registro TXSTA . . . . .	13
2.6. Estructura Interna del Registro RCSTA . . . . .	14
2.7. Estructura Interna del Registro INTCON . . . . .	15
2.8. Estructura Interna del Registro PIE1 . . . . .	16
2.9. Estructura Interna del Registro PIR1 . . . . .	16
2.10. MPLAB . . . . .	18
2.11. IC-Prog . . . . .	18
2.12. Programador JDM . . . . .	19
2.13. Conector DB-9 . . . . .	21
2.14. MAX 232 . . . . .	22
3.1. Armazón del Calefactor . . . . .	24
3.2. Ventilador . . . . .	25
3.3. Electroválvula . . . . .	25
3.4. Voltaje de Salida del LM35 en Función de la Temperatura. . . . .	27
3.5. Diagrama de la Ecuación del Comportamiento del CAS de Temperatura. . . . .	28
3.6. Grafica de Voltajes de Entrada/Salida del CAS de Temperatura. . . . .	29
3.7. Gráfica del CAS de Temperatura. . . . .	30
3.8. Relacion del Porcentaje del Valor Final Respecto al Tiempo. . . . .	33
3.9. Circuito que Suma 1.3636V a la Señal del Filtro. . . . .	34
3.10. Circuito Esquemático de las Etapas del CAS de Temperatura. . . . .	35
3.11. Voltaje de Entrada y Salida de CAS en el Tiempo. . . . .	35
3.12. Relacion del Voltaje de Entrada y Salida del CAS. . . . .	36
3.13. Respuesta de la Frecuencia del CAS de Temperatura. . . . .	37
3.14. Diagrama de un Fototransistor NPN . . . . .	37
3.15. LM324 . . . . .	38
3.16. Circuito Sensor de Flama . . . . .	39
3.17. Fuente de Alimentación . . . . .	41

---

3.18. Bobina . . . . .	41
3.19. Bujía . . . . .	42
3.20. Cable de Alta Tensión . . . . .	42
3.21. Circuito de Encendido por Arco Eléctrico . . . . .	43
3.22. Circuito de Acoplamiento y Potencia . . . . .	44
4.1. Ejemplo de un Panel Frontal . . . . .	48
4.2. Ejemplo de un Diagrama de Bloques . . . . .	48
4.3. Barra de Menú de un Archivo de LabVIEW . . . . .	49
4.4. Paleta de Herramientas . . . . .	50
4.5. Paleta de Controles . . . . .	51
4.6. Paleta de Funciones . . . . .	52
4.7. Controles de Ejecución . . . . .	54
4.8. Jerarquía con la que Opera NI-VISA . . . . .	55
4.9. Estructura Interna NI-VISA . . . . .	56
4.10. VISA Find Resources . . . . .	57
4.11. VISA Open . . . . .	57
4.12. VISA Close . . . . .	58
4.13. VISA Write . . . . .	58
4.14. VISA Read . . . . .	59
4.15. VISA Configure Serial Port . . . . .	59
5.1. Inicialización . . . . .	62
5.2. Encendido . . . . .	62
5.3. Ciclo de Encendido . . . . .	63
5.4. Funcionamiento Normal . . . . .	64
5.5. Apagado por Término de Tiempo . . . . .	64
5.6. Aumento de Temperatura . . . . .	65
5.7. Superación del Nivel de Temperatura . . . . .	66
5.8. Ausencia de Flama . . . . .	67
5.9. Error de Encendido . . . . .	67
5.10. Error de Encendido . . . . .	68
5.11. Repetición del Ciclo al Minuto . . . . .	68
6.1. Inicialización del Programa. . . . .	70
6.2. Inicialización del PIC. . . . .	71
6.3. Código de Control. . . . .	72
6.4. Código de Control. . . . .	73
6.5. Rutina de Interrupción. . . . .	74
6.6. Rutina de Retraso de Tiempo . . . . .	74
6.7. Rutina de Actualización de Datos . . . . .	75
6.8. Diagrama de Bloques . . . . .	76
6.9. Configuración del Puerto Serial . . . . .	76

---

6.10. Recepción de Datos . . . . .	77
6.11. Información Recibida . . . . .	77
6.12. Forma de Mostrar los Datos . . . . .	79
6.13. Comparación de Tiempo . . . . .	80
6.14. Envío de Datos . . . . .	81
6.15. Cerrar Sesión . . . . .	81
6.16. Inicialización . . . . .	82
6.17. Encendido . . . . .	82
6.18. Ciclo de Encendido . . . . .	83
6.19. Funcionamiento Normal . . . . .	84
6.20. Apagado por Término de Tiempo . . . . .	84
6.21. Aumento de Temperatura . . . . .	85
6.22. Superación del Nivel de Temperatura . . . . .	85
6.23. Ausencia de Flama . . . . .	86
6.24. Error de Encendido . . . . .	86
6.25. Error de Encendido . . . . .	87
6.26. Repetición del Ciclo al Minuto . . . . .	87
B.1. Armazon del Calefactor . . . . .	127
B.2. Calefactor . . . . .	128
B.3. Ventilador, Sensor de Flama y Bujía . . . . .	128
B.4. Bobina . . . . .	129
B.5. Bobina . . . . .	129
B.6. Bobina y Circuito Generador de Chispa . . . . .	130
B.7. Bujía . . . . .	130
B.8. Bujía . . . . .	131
B.9. Circuito Generador de Chispa . . . . .	131
B.10.Sensor de Flama . . . . .	132
B.11.Bateria . . . . .	132

# Resumen

En los últimos años, son muchos los agricultores que han iniciado la instalación de sistemas que incluyen la automatización de invernaderos, ya sea en la apertura de la ventilación, radiómetros que indican el grado de luminosidad en el interior del invernadero, instalación de equipos de calefacción, etc. Por ello, en el presente documento se exponen los elementos que permiten desarrollar una pequeña parte de dicha automatización; como es el caso del control de la temperatura dentro de los invernaderos, así como una descripción de los protocolos que permiten realizar este control. El siguiente trabajo de tesis está dividido en tres partes principales:

- Diseño e implementación de un calefactor capaz de elevar la temperatura cuando sea necesario. Además del diseño del calefactor se incluye la realización física de dicho calefactor, así como el desarrollo del circuito electrónico de encendido por arco eléctrico.
- Diseño e implementación de un sistema de supervisión que permita:
  1. Medir el comportamiento de la temperatura dentro del invernadero.
  2. El encendido del calefactor o en caso de existir alguna falla en el encendido indicar este error, entre otras consideraciones. Este diseño está basado en LabVIEW, el cual es un ambiente de programación gráfica que permite la creación de instrumentos virtuales de forma fácil, económica y flexible.
- Diseño e implementación de un sistema mínimo para el control y supervisión de variables, tales como la temperatura dentro del invernadero, el encendido y la presencia de flama en el calefactor, etc. El sistema mínimo está basado en el Microcontrolador PIC 16F877A fabricado por Microchip. El protocolo de comunicación usado es RS-232.

Así, se ha desarrollado una solución para controlar y supervisar desde una computadora, la temperatura dentro de un invernadero, así como las alarmas y condiciones de operación implícitas al sistema.

# Capítulo 1

## Introducción

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de calidad y mayores rendimientos en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación al mejorar la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final. Además; lograr que los procesos vitales en el funcionamiento del invernadero, se realicen de manera automática, es una de las principales metas que se desean alcanzar.

### 1.1. Planteamiento del Problema

El problema a resolver en este trabajo es implementar un sistema de calefacción para elevar la temperatura dentro del invernadero cuando sea necesario. Esto incluye el diseño y realización del calefactor, el circuito electrónico de encendido por arco eléctrico, el cual estará controlado por medio de sensores conectados a un sistema mínimo esclavo basado en un microcontrolador PIC 16F877A. Finalmente la supervisión se llevará a cabo por medio de una computadora personal (PC) mediante el programa de LabVIEW.

### 1.2. Objetivos

Los objetivos principales de esta tesis son mencionados a continuación:

#### 1. General

Diseñar y realizar un sistema de calefacción para regular la temperatura dentro de un invernadero, el cual pueda ser supervisado en una PC.

## 2. Particulares

- a) Diseñar y realizar el calefactor y el sistema de encendido por arco eléctrico.
- b) Diseñar y analizar el sistema mínimo de control del calefactor del invernadero, basado en el PIC 16F877A, de tal forma que pueda ser supervisada desde un punto central (PC), utilizando el protocolo serial RS232.
- c) Diseñar los instrumentos virtuales para la supervisión de la temperatura y demás variables involucradas.

## 1.3. Justificación

La realización de proyectos que facilitan las actividades humanas son, sin duda prioritarios si conllevan a un desarrollo económico y social; de ahí la importancia de la realización de proyectos como el Sistema de Evaluación, Control y Supervisión de Invernaderos Hidropónicos (SECSHI), del cual el presente trabajo forma parte, ([Mor07]).

Como ya se explicó, este trabajo está enfocado al control de la temperatura dentro del invernadero; quizá la pregunta aquí sería Por qué nos preocupa controlar esta variable?, la respuesta es sencilla, la temperatura es un factor fundamental en el crecimiento y desarrollo de las plantas y cada una tiene un rango de temperatura *ideal* para que el producto sea de alta calidad. Por lo tanto, si se logra un buen control de dicha variable (junto con otras no menos importantes como la humedad, la cantidad de nutrientes, la radiación solar, etc.) es posible generar productos de alta calidad y en un corto tiempo.

## 1.4. Estado del Arte

Existen hoy en día numerosos proyectos enfocados a la automatización de invernaderos los cuales utilizan diferentes herramientas para lograr su propósito; dentro de la búsqueda bibliográfica realizada se destacan los siguientes:

### 1. Sistema de control de humedad, temperatura y riego de invernaderos industriales

Este proyecto fue desarrollado por la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional (UNEFA) en Venezuela.

La finalidad de este proyecto fue el diseño e implementación de un controlador de temperatura, humedad relativa y riego. El diseño del sistema de control esta basado en el uso de 2 microcontroladores PIC16F876, que se comunican con el puerto serial de la computadora usando el estándar RS232 (haciendo uso del circuito integrado MAX 232 para regular los voltajes); utilizan además un circuito

---

electrónico que posee un reloj de tiempo real (DS1307) de Dallas Semiconductor, el cual genera una base de tiempo del sistema de control, necesario para activar el sistema de riego. El elemento de medición, lo compone el sensor DSH01K, que posee un sensor de temperatura (DS2438) y un sensor de humedad relativa (HIH 3610). La interfaz de programación gráfica se desarrolló con LabVIEW junto con el programa NI VISA.

Cabe destacar la similitud de este proyecto con el presente trabajo de tesis, ambos utilizan un microcontrolador PIC para el sistema de control, la comunicación serial es por medio del estándar RS232 ajustando los niveles de voltaje por medio del circuito integrado MAX232, utilizan LabVIEW para la instrumentación virtual; Sin embargo es notable que el proyecto de la UNEFA (más amplio y completo), provoca el uso de un elemento de medición que permite sensar más de una variable meteorológica. Este proyecto está enfocado a la modernización del área agropecuaria de Venezuela.

## 2. Laboratorio remoto para el control de una maqueta de invernadero (LRCMI)

El LRCMI, está basado en una maqueta de invernadero que es utilizada para el desarrollo de un laboratorio remoto, donde se simulan variables y sistemas comunes en el entorno de un invernadero (radiación solar, calefacción, etc.). Los objetivos de ese proyecto son el controlar un invernadero o una maqueta del mismo a través de Internet ya sea con una PC o un PLC donde la elección del dispositivo de control se efectúa de manera remota. En la PC, se hace uso de LabVIEW versión 6.1, el PLC utilizado es un Siemens de la serie S7-200 con CPU 214. El lenguaje de programación utilizado ha sido lista de instrucciones (AWL) y utiliza la aplicación Step 7 MicroWin.

El sistema de ventilación es simulado mediante un ventilador de corriente continua, la calefacción a través de una resistencia de un secador de cabello, para simular la radiación solar se hace uso de un foco de 500 W.

Para la adquisición de datos de los sensores se hace uso de módulos de adquisición remotos de la empresa ICPDAS. Estos módulos permiten la adquisición de elementos a largas distancias a través de una conexión RS485. Desde la PC son controlados a través del puerto RS232 por lo que se ha utilizado un conversor RS485 a RS232. Dicho laboratorio ha sido dotado con un servidor de video AXIS 2400 y una cámara CCD, a la cual es posible acceder a través del sitio web y observar los resultados en la maqueta.

Como se puede observar, aunque a nivel de una maqueta, el proyecto de laboratorio remoto es bastante completo y muestra la posibilidad de que el control de temperatura propuesto, pueda ser controlado desde Internet. Esto puede ser considerado como un trabajo a futuro.

### 3. Control y monitoreo de variables ambientales utilizando un PLC y SCADA

Este proyecto es muy similar al que se propone en este trabajo de tesis, cuenta con un sistema de monitoreo y de control de las variables del invernadero como: la temperatura, humedad del suelo y la humedad relativa, todo esto interpretado por la PC con una condición de encendido y apagado del sistema de bombeo.

Utiliza sistemas de alta tecnología, el cual se basa en la utilización del PLC FPC101AF de FESTO y el software INTOUCH de Wonderware. La programación de dicho PLC se desarrolla en lenguaje LADDER, para efectuar cambios en la temperatura y el estado de la humedad al manipular los actuadores del ventilador, del extractor y de la resistencia de calefacción.

El sistema de monitoreo se compone del software fundamental para la automatización, este software es llamado InTouch el cual es la base fundamental de ese trabajo. La integración total del proceso (sistemas SCADA), permite utilizar mejor las técnicas de control y visualización siendo la parte primordial de un sistema automatizado.

En ese proyecto el proceso de control de variables ambientales es empleado en el invernadero de la Universidad de Pamplona, para mejorar la calidad de aprendizaje del estudio de la electrónica, así como en lo referente a las ciencias ambientales.

## 1.5. Organización de la Tesis

La estructura de esta tesis es la siguiente:

En el *Capítulo 2* se da un panorama de las características del microcontrolador PIC 16F877A, así como los recursos de este dispositivo empleados en este trabajo. También se aborda el tema de comunicación serial, destacando las características del protocolo RS-232.

En el *Capítulo 3* se exponen los componentes del calefactor, así como los circuitos electrónicos para el sensado de temperatura, presencia de flama y el circuito de encendido por arco eléctrico.

En el *Capítulo 4* se da una introducción sobre la instrumentación virtual (LabVIEW), algunos conceptos básicos, herramientas, componentes, etc,. Además se explica el modulo NI-VISA, el cual permite la comunicación serial entre el sistema mínimo y la PC.

En el *Capítulo 5* se explican las pruebas del sistema de calefacción, con ayuda de imágenes de los diferentes escenarios. También se explica de manera detallada el programa para el microcontrolador, realizado en lenguaje C, el cual lleva a cabo el control

---

del sistema de calefaccion y el programa que permite la supervision de dicho sistema, realizado en LabVIEW.

# Capítulo 2

## Sistema Mínimo y Comunicación Serial

En este Capítulo se hace mención del sistema mínimo seleccionado, las características del microcontrolador PIC16F877A, así como los recursos de dicho dispositivo empleados en el proyecto. En la Sección 2.2 se aborda el tema de comunicación serial, haciendo énfasis en las características del protocolo RS-232 y las consideraciones necesarias para un buen funcionamiento.

### 2.1. Sistema Mínimo

Un sistema mínimo es un dispositivo que ayuda a la simplificación de elementos que interactúan en un proceso, en este caso el sistema mínimo propuesto está orientado al microcontrolador PIC16F877A.

Existen diferentes industrias, tales como Microchip, Motorola, Intel, etc., que fabrican microcontroladores cuyos productos ofrecen los requerimientos de hardware necesarios para realizar tareas que necesitan un alto nivel de especialización, no obstante se optó por un microcontrolador de Microchip por que cumple los requerimientos de entradas y salidas (que a su vez soportan conexión con otros elementos tales como sensores y actuadores), suficiente memoria de datos y de programa, convertidor analógico digital, módulo de comunicación serial, etc., además de una amplia gama de información y soporte técnico accesible en las páginas de esta empresa.

#### 2.1.1. Microcontrolador PIC16F877A

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (unidad central de proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.

- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Lınneas de entrada/salida para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertos serie y paralelo, CAD: conversores analógico/digital, CDA: conversores digital/analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Las ventajas que ofrecen los productos que utilizan microcontroladores son:

- *Aumento de prestaciones:* Un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- *Aumento de la fiabilidad:* Al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- *Reducción del tamaño en el producto acabado:* La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra, etcétera.
- *Mayor flexibilidad:* Las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

### 2.1.2. Características del PIC 16F877A

A continuación se hace referencia a las características del PIC 16F877A y de como fue utilizado en el presente proyecto. Todos los detalles técnicos pueden encontrarse en ([Mic01]).

#### 1. CPU de alto desempeño con juego de instrucciones reducido (RISC):

- 35 instrucciones.
- Hasta 8K \* 14 palabras de memoria flash de programa.
- Hasta 368 \* 8 bytes de memoria de datos (RAM).
- 256 \* 8 bytes de memoria de datos (EEPROM).
- Pines de salida compatibles con otros microcontroladores (PIC 16CXXX y PIC 16FXXX)

#### 2. Características de los periféricos:

- Puertos de entrada/salida:
-

- Puerto A: Cuenta con 6 pines de entrada/salida digital compartidos con 5 canales analógicos.
- Puerto B: Cuenta con 8 pines de entrada/salida digital.
- Puerto C: Compuesto por 8 pines de entrada/salida digital compartidos con el modulo de comunicación serial.
- Puerto D: Compuesto por 8 pines de entrada/salida digital compartidos con el puerto paralelo.
- Puerto E: Compuesto por 3 pines de entrada/salida digital compartidos con 3 canales analógicos.
- Temporizadores:
  - Timer0: contador-temporizador de 8 bits con pre-ajustador de 8 bits.
  - Timer1: contador-temporizador de 16 bits con pre-ajustador, puede ser incrementado mediante reloj/cristal externo durante el modo sleep.
  - Timer2: contador-temporizador con periodo de registro de 8 bits.
- Dos módulos PWM de captura-comparación:
  - La captura es de 16 bits con una resolución máxima de 12.5 ns.
  - La comparación es de 16 bits con una resolución máxima de 200 ns.
  - La máxima resolución PWM es de 10 bits.
- Puerto serial síncrono (SSP):
  - Modo maestro SPI.
  - Modo maestro-esclavo I2C.
- Transmisor-receptor universal síncrono asíncrono (USART):
  - Con detección de direcciones a 9 bits.
- Puerto paralelo esclavo (PSP):
  - Con 8 bits y pines de lectura y escritura externos.
- Características del puerto analógico:
  - Resolución de 10 bits y hasta 8 canales del convertidor analógico digital.
  - Reset parcial (BOR).
  - Módulo de comparación analógico con: 2 comparadores analógicos, módulo para programar el voltaje de referencia, multiplexaje programable del voltaje de referencia y de las entradas analógicas, salidas del comparador externamente accesibles.

### 3. Características especiales:

- 100 000 ciclos de escritura / borrado de la memoria flash.
-

- 1 000 000 ciclos de escritura / borrado de la memoria EEPROM.
- Retención de datos de la EEPROM mayor a 40 años.
- Autoprogramable bajo software de control.
- Programación serial mediante 2 pines y con 5 volts de alimentación.
- Perro guardián con su propio oscilador RC para un desempeño confiable.
- Protección del código programable.
- Modo sleep para ahorro de energía.
- Opciones de elección de diferentes osciladores.

#### 4. Tecnología CMOS:

- Tecnología de baja potencia, alta velocidad flash / EEPROM.
- Diseño completamente estático.
- Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 volts.
- Rango de temperatura industrial y comercial.
- Bajo consumo de potencia.

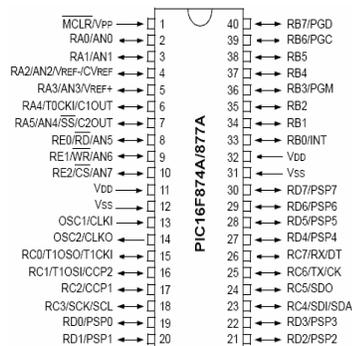


Figura 2.1: Diagrama del PIC16F877A

### 2.1.3. Recursos del PIC16F877A

#### 1. Puertos

- Puerto A.

Es un puerto bidireccional de 6 bits, la dirección del pin depende del registro TRISA, si  $TRISA = 1$ , el puerto A es configurado como entrada, por el contrario, si  $TRISA = 0$ , el puerto A es configurado como salida.

En este trabajo de tesis el pin a utilizar del puerto A es RA0 que está multiplexado con el canal analógico de entrada AN0, para la entrada analógica proveniente del sensor de temperatura.

Para seleccionar dicho pin como entrada analógica, además de configurar RA0 como entrada (TRISA0=1) es necesario configurar adecuadamente el registro ADCON1 y, para seleccionar el canal a leer el registro que se debe configurar es ADCON0.

- Puerto C.

Es un puerto bidireccional de 8 bits, al igual que los demás puertos su dirección depende de su registro TRIS correspondiente. Debido a las prestaciones que puede realizar, se utilizó como se detalla a continuación:

- RC7 y RC6: recepción y transmisión serial respectivamente. Es necesario configurar los registros TXSTA y RCSTA.
- RC5: señal de paro de emergencia.
- RC4: señal de error de encendido.
- RC3: señal de salida hacia el ventilador.
- RC2: señal de salida hacia la electroválvula.
- RC1: señal de salida hacia el generador de arco eléctrico (piloto).
- RC0: señal proveniente del sensor de flama.

- Puerto E.

Es un puerto bidireccional de 3 bits, al igual que los demás puertos su dirección depende de su registro TRIS correspondiente.

Los pines a utilizar de este puerto son RE0 como señal de error por sobreescritura, RE1 como señal de error por framing.

## 2. Convertidor analógico digital

Características:

- Tiene 8 entradas para canal analógico.
- El resultado de una conversión es un número digital de 10 bits.
- El módulo de conversión analógico - digital tiene un nivel alto y bajo voltaje de referencia de entrada que es seleccionado por software.

El módulo de conversión analógico - digital tiene 4 registros:

- a) *ADCON0*: Contiene los bits de selección de conversión de reloj (ADCS1 y ADCS0), los bits de selección del canal analógico (CHS2-CHS0), el bit de estado de la conversión (GO/DONE) y el bit de encendido del canal analógico (ADON).

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	-	ADON

Figura 2.2: Estructura Interna de ADCON0

ADCON1 <ADCS1>	ADCON0 <ADCS1-ADCS0>	RELOJ DE CONVERSION
0	0 0	Fosc/2
0	0 1	Fosc/8
0	1 0	Fosc/32
0	1 1	Frc (reloj derivado del oscilador interno RC del convertidor A/D)
1	0 0	Fosc/4
1	0 1	Fosc/16
1	1 0	Fosc/64
1	1 1	Frc (reloj derivado del oscilador interno RC del convertidor A/D)

Figura 2.3: Conversi3n de Reloj y Velocidad de Conversi3n Equivalente

- b) *ADCON1*: Contiene el bit de selecci3n del formato del resultado (ADFM), un bit de selecci3n de conversi3n de reloj (ADCS2), bits de control de la configuraci3n de puerto anal3gico - digital (PCFG3-PCFG0).

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
ADFM	ADCS2	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

Figura 2.4: Estructura Interna de ADCON1

- c) *ADRESH* y *ADRESL*: Almacenan los 10 bits del resultado de la conversi3n. Cuando se selecciona un formato justificado a la izquierda, *ADRESH* guarda los 8 bits más significativos y *ADRESL* los 2 restantes. Si se selecciona un formato justificado a la derecha, *ADRESH* guarda los 2 bits más significativos y *ADRESL* guarda los 8 bits menos significativos.

### 3. M3dulo USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)

El m3dulo USART de los microcontroladores PIC permite la comunicaci3n con otros microcontroladores, memorias EEPROM, PC, etc, utilizando o bien un modo asíncrono (full duplex) o bien uno síncrono (maestro o esclavo, half duplex) ([Gar03]).

Este módulo permite enviar 8 ó 9 bits por transmisión y tiene posibilidad de alcanzar varias velocidades de transmisión, es suficiente con colocar un dato en el registro TXREG del microcontrolador para enviar y leer el registro RCREG para conocer el dato recibido.

En el PIC 16F877A los pines que son utilizados por el módulo USART son el RC7/RX y el RC6/TX. Estos pines tienen que estar configurados como entrada y como salida respectivamente. Es decir puestos en 1 y en 0 en los registros TRIS correspondientes.

Características:

- Se encarga de la transmisión - recepción serial de datos mediante 2 líneas.
- Se puede configurar para el envío y recepción de 8 ó 9 bits.
- Los datos que se desea enviar se almacenan en el registro TXREG.
- Los datos recibidos se almacenan en el registro RCREG.
- Mediante las banderas de recepción y transmisión es posible saber si un dato fue enviado o recibido.
- El modulo USART puede ser configurado como un sistema asíncrono full-duplex o como un sistema síncrono half-duplex.
- Es posible escoger la velocidad de transmisión.

Los registros requeridos para el funcionamiento del módulo USART son:

- **TXSTA** (Registro de Control y Estado de Transmisión).

Entre sus funciones principales destacan: la configuración para la transmisión en 8 ó 9 bits, elección entre transmisión síncrona o asíncrona y de la velocidad de transmisión.

Este registro contiene el bit de selección de fuente de reloj (CSRC), el bit habilitador de la transmisión a 9 bits (TX9), el bit habilitador de la transmisión (TXEN), el bit de selección de modo síncrono o asíncrono (SYNC), el bit de selección de velocidad (BRGH), el bit de estado del TSR (TRMT), y el noveno bit en caso de una transmisión a 9 bits.

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
CSRC	TX9	TXEN	SYNC	-	BRGH	TRMT	TX9D

Figura 2.5: Estructura Interna del Registro TXSTA

- **RCSTA** (Registro de Control y Estado de Recepci3n).

Sus funciones principales son: Habilitar la recepci3n de 8 3 9 bits y habilita RC7 como línea de recepci3n y RC6 como línea de transmisi3n.

Este registro contiene el bit habilitador del puerto serial (SPEN), el bit habilitador de la recepci3n a 9 bits (RX9), el bit habilitador de recepci3n simple (SREN), el bit habilitador de recepci3n continua (CREN), el bit habilitador de detecci3n de direcciones (ADDEN), el bit de detecci3n de error de framing (FERR), el bit de error por sobrescritura (OERR) y el noveno bit en caso de una recepci3n a 9 bits (RX9D).

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D

Figura 2.6: Estructura Interna del Registro RCSTA

- **SPBRG**: Genera los pulsos, el reloj de la transmisi3n. Existe un timer independiente de 8 bits que decrementa hasta 0 a partir del valor de este registro, es decir, en este registro se configura la velocidad de transmisi3n de acuerdo al oscilador utilizado.

Su valor depende del valor de BRGH y SYNC; esta en funci3n de las f3rmulas siguientes:

Para BRGH=0 y SYNC=0

$$BaudRate = FOSC / (64(X + 1))$$

Para BRGH=0 y SYNC=1

$$BaudRate = FOSC / (4(X + 1))$$

Para BRGH=1 y SYNC=0

$$BaudRate = FOSC / (16(X + 1))$$

#### 4. Interrupciones

Existen varias fuentes de interrupciones, el USART, el SSP, escritura completa de EEPROM, cambio en el puertoB, timers, etc. pero existe solo una rutina de atenci3n a todas las interrupciones.

En este proyecto de tesis la interrupci3n a utilizar es por recepci3n serial.

Para habilitar las interrupciones existen bits particulares para cada una, estos se encuentran en los registros PIE, y los PIR contienen las banderas de interrupci3n.

El bit que enmascara las interrupciones globales es el GIE; Si este bit no está en 1 no se detectan interrupciones, es decir no se ejecuta la rutina de interrupción; de cualquier manera las banderas de interrupción se ponen en 1 cuando estas ocurren.

Cuando se ejecuta la rutina de interrupción, la bandera GIE se pone en 0 por hardware durante la ejecución de la rutina y se pone a 1 por hardware al terminar la misma. Note que es importante poner en 0 por software la bandera de la fuente de interrupción provocada, ya que si no se pone en 0 esta bandera, la interrupción se volverá a ejecutar provocando un ciclo de ejecución infinito. Dada la arquitectura de funcionamiento de los PICs si ocurrió una interrupción cuando la GIE estaba en 0, al ponerse en 1 se ejecutará inmediatamente la rutina de interrupción.

Los registros que intervienen son:

- **INTCON:** Es un registro de lectura y escritura que contiene varios bits habilitadores y de bandera relacionados con interrupciones, Fig 2.7

Contiene el bit habilitador de interrupción global (GIE), el bit habilitador de interrupción por periféricos (PEIE), el bit habilitador de la interrupción por sobre flujo del TMRO (TMROIE), el bit habilitador de la interrupción externa INT (INTE), el bit habilitador de la interrupción por cambio en el puerto B (RBIE), el bit bandera de la interrupción por sobre flujo del TMRO (TMROIF), el bit bandera de la interrupción externa INT (INTF), el bit bandera de la interrupción por cambio en el puerto B (RBIF).

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
GIE	PEIE	TMROIE	INTE	RBIE	TMROIF	INTF	RBIF

Figura 2.7: Estructura Interna del Registro INTCON

- **PIE1:** Este registro contiene los bits habilitadores individuales de las interrupciones por periféricos, los cuales son enumerados a continuación:
  - a) Bit habilitador de la interrupción por lectura/escritura del puerto para lelo esclavo (PSPIE).
  - b) Bit habilitador de la interrupción del convertidor A/D (ADIE).
  - c) Bit habilitador de la interrupción por recepción del USART (RCIE).
  - d) Bit habilitador de la interrupción por transmisión del USART (TXIE).
  - e) Bit habilitador de la interrupción del puerto serial síncrono (SSPIE).
  - f) Bit habilitador de la interrupción del CCP1 (CCP1IE).
  - g) Bit habilitador de la interrupción del TMR2 (TMR2IE).

*h)* Bit habilitador de la interrupci3n por sobre flujo del TMR1 (TMR1IE).

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
PSPIE	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE

Figura 2.8: Estructura Interna del Registro PIE1

- **PIR1:** Este registro contiene los bits de bandera individuales de las interrupciones por periféricos (Fig. ) los cuales se enumeran a continuaci3n:
  - a)* Bit bandera de la interrupci3n por lectura/escritura del puerto paralelo esclavo (PSPIF).
  - b)* Bit bandera de la interrupci3n del convertidor A/D (ADIF).
  - c)* Bit bandera de la interrupci3n por recepci3n del USART (RCIF).
  - d)* Bit bandera de la interrupci3n por transmisi3n del USART (TXIF).
  - e)* Bit bandera de la interrupci3n del puerto serial síncrono (SSPIF).
  - f)* Bit bandera de la interrupci3n del CCP1 (CCP1IF).
  - g)* Bit bandera de la interrupci3n del TMR2 (TMR2IF).
  - h)* Bit bandera de la interrupci3n por sobre flujo del TMR1 (TMR1IF).

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
PSPIF	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF

Figura 2.9: Estructura Interna del Registro PIR1

#### 2.1.4. Herramientas de Software y Hardware

Para poder trabajar con los PICs, y en general con cualquier otro microcontrolador, se necesitan las siguientes herramientas:

1. *Un ensamblador:* La programaci3n en lenguaje ensamblador permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema. Con el ensamblador es posible generar el archivo con el c3digo ejecutable.
2. *Un compilador:* la programaci3n en un lenguaje de alto nivel (como el C 3u3 el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el c3digo resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador.

3. *Depuración:* Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.
4. *Un simulador:* para poder ejecutar los programas paso a paso y detectar errores.

Los simuladores son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Pero un gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo un tanto más seguro.

5. *Un software de descarga,* que permita grabar el archivo ejecutable en la memoria no volátil del microcontrolador. Se precisa para ello de un elemento hardware: el grabador.

El programa utilizado en este proyecto es MPLAB IDE v7.0 el cual es un programa que corre en una PC y es utilizado para aplicaciones con microcontroladores de Microchip, es llamado ambiente de desarrollo integrado (IDE) porque proporciona un ambiente para el desarrollo de código para un microcontrolador determinado.

Este programa es distribuido por Microchip y esta disponible de forma gratuita.

MPLAB permite:

1. Escribir el código del programa ya sea en lenguaje ensamblador o en algún lenguaje de alto nivel (como C o Basic), en este caso se utiliza C.
  2. Compilar el programa mediante el uso del compilador PICC en su versión Lite. Este compilador permite programar de la misma manera que C y es posible descargarlo de forma gratuita, junto con el manual de usuario.
  3. Simular el programa mediante la herramienta llamada MPLAB SIM.
-

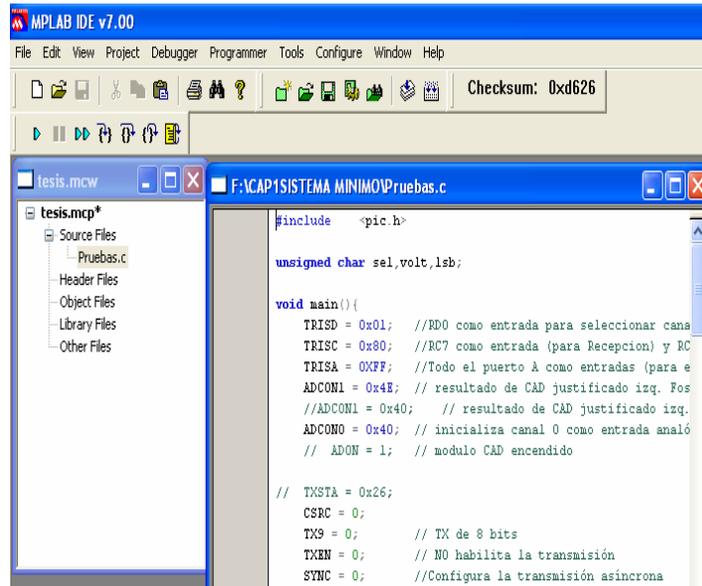


Figura 2.10: MPLAB

El software de descarga utilizado para grabar el programa en el microcontrolador es IC-Prog que también es de distribución gratuita.

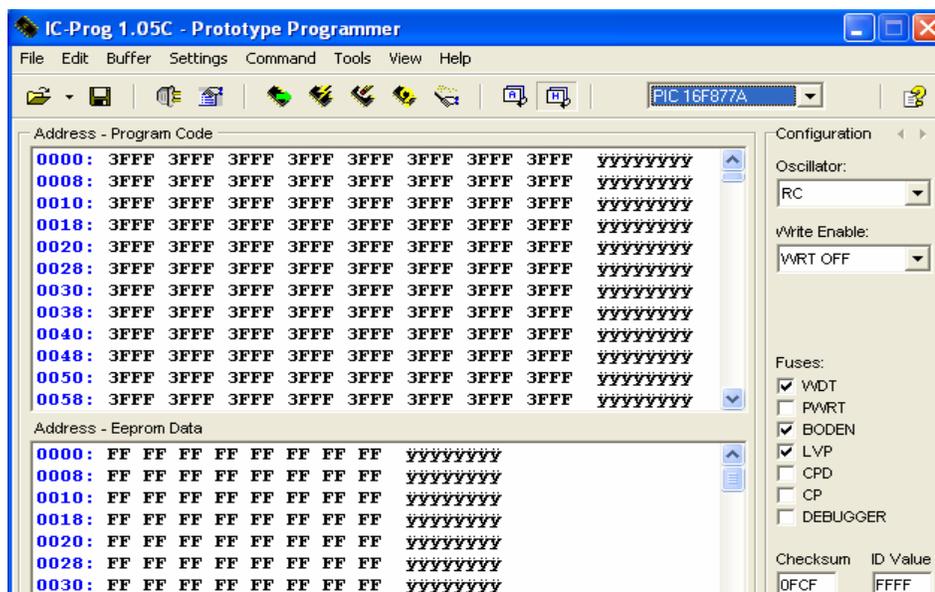


Figura 2.11: IC-Prog

El elemento de hardware empleado para grabar el programa en el microcontrolador es el JDM programmer.

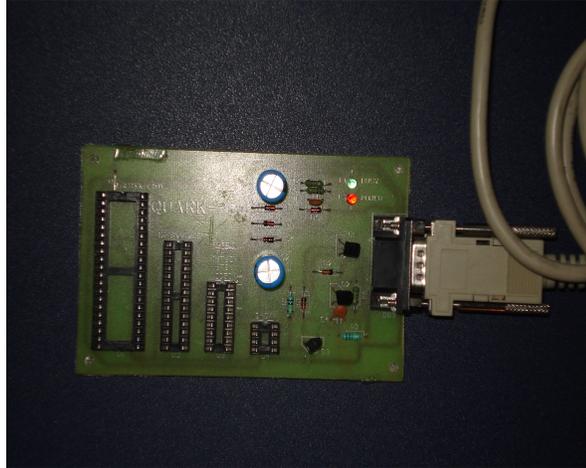


Figura 2.12: Programador JDM

## 2.2. Comunicación Serial

Existen dos formas posibles de transmisión serial, síncrona y asíncrona; el presente trabajo utiliza transmisión asíncrona y usa el formato de no retorno a cero, el cual consiste en un bit de inicio, 8 ó 9 bits de datos y un bit de parada.

### 2.2.1. Protocolo de Comunicación RS-232

RS-232 (también conocido como RS-232C) es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo Terminal de Datos) como puede ser una PC y un DCE (Equipo de Comunicación de Datos), que puede ser una impresora, en este caso un PIC ([Inc02]).

#### Características:

25 terminales de señal, aunque el más común y el utilizado en este proyecto es el de 9 terminales (DB9); los terminales se describen a continuación:

- DCD: Señal de entrada para la detección de portadora. Ésta es la señal por medio del cual el DCE informa al DTE que tiene una portadora entrante. Puede ser usado por el DTE para determinar si el canal está desocupado (terminal 1) ([Inc02]).

- RXD: Señal de entrada que se usa para recibir datos. Es el recorrido por medio del cual los datos se envían desde el DCE al DTE. Esta línea debe estar presente si los datos deben viajar en esa dirección en un momento dado (terminal 2) ([Inc02]).
  
  - TXD: Señal de salida que se usa para transmitir datos. Es la trayectoria por la que los datos se envían desde el DTE al DCE. Esta debe estar presente si los datos deben viajar en esa dirección en cualquier momento (terminal 3) ([Inc02]).
  
  - DTR: Señal de salida que se usa como terminal de datos listo. Esta línea provee la señal que informa al DCE que el DTE está activo y bien. Es normalmente habilitada por el DTE al encenderse (terminal 4) ([Inc02]).
  
  - SG: Tierra, referencia para señales. Es la tierra al que todos los otros voltajes están referenciados, debe estar presente en cualquier interfaz RS-232 (terminal 5) ([Inc02]).
  
  - DSR: Señal de entrada que indica que el equipo de datos está listo. Esta línea es la señal que informa al DTE que el DCE está activo y bien. Es normalmente habilitada por el DCE al encenderse (terminal 6) ([Inc02]).
  
  - RTS: Señal de salida que se usa como solicitud de envío. Es la señal que indica que el DTE desea enviar datos al DCE, (ninguna otra línea está disponible para la dirección opuesta, de aquí en adelante el DTE debe estar siempre listo para aceptar datos) terminal 7) ([Inc02]).
  
  - CTS: Señal de entrada que indica que está libre el módulo para realizar envíos. Es la señal que indica que el DCE está preparado para aceptar datos desde el DTE. En operación normal, la línea CTS estará apagada (terminal 8) ([Inc02]).
  
  - RI: Señal de entrada como indicador de llamada (terminal 9) ([Inc02]).
-

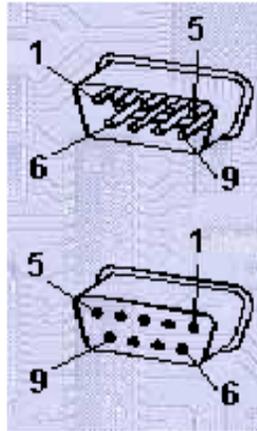


Figura 2.13: Conector DB-9

Los voltajes para un nivel lógico alto están entre -3V y -15V, y un nivel bajo +3V y +15V. No obstante los voltajes más usados son +12V/-12V, +9V/-9V.

La interfaz RS-232 está diseñada para distancias cortas, de unos 15 metros o menos, y para velocidades de comunicación bajas, de no más de 20 Kbps.

Velocidades posibles: 300, 600, 1200, 2400, 4800 y 9600 bps.

#### Desventajas:

- RS-232 tiene una distancia máxima de 15 metros.
- Su método de toma de tierra o retorno común. Este método, llamado transmisión no balanceada, funciona bien en distancias cortas pero a mayor distancia existe la posibilidad que no se interpreten bien los distintos estados de la señal.
- Otra dificultad es su máximo de 20 Kbps. para la velocidad de transmisión, comparando con las velocidades alcanzadas por las redes de área local, 10 y 100 Mbps.

#### Consideraciones:

Antes de iniciar cualquier comunicación con el puerto RS232 se debe de determinar el protocolo a seguir dado que el estándar del protocolo no permite indicar en que modo se esta trabajando. Es el programador que utiliza el protocolo, el que debe decidir y configurar ambas partes antes de iniciar la transmisión de datos.

Los parámetros a configurar son los siguientes:

- *Protocolo serie (número bits-paridad-bits stop)*: comunicación a 8 bits, sin bit de paridad y con 1 bit de parada.

- *Velocidad de puerto*: 9600 Baudios.
- *Protocolo de control de flujo (RTS/CTS o XON/XOFF)*: Sin control de flujo.

Es necesario realizar esta configuración tanto en la PC como en el PIC.

### 2.2.2. MAX 232

Debido a que la PC maneja valores distintos de voltaje para representar un 0 ó 1 lógico, es necesario un adaptador que permita llevar a cabo la comunicación con el PIC, ya que estos no deben ser conectados directamente.

El adaptador que se utiliza es el circuito integrado MAX 232, con cuatro capacitores electrolíticos de 4.7 microfaradios, la configuración se muestra en la Figura 2.14.

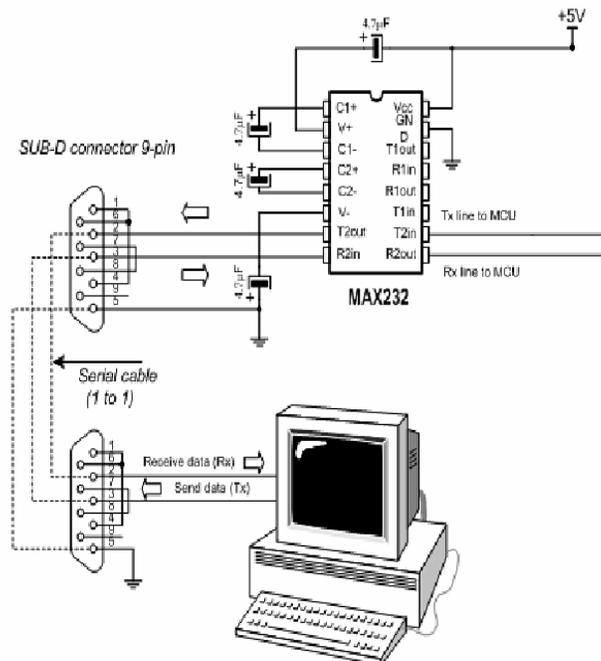


Figura 2.14: MAX 232

# Capítulo 3

## Sistema de Calefacción

En este Capítulo se explican en detalle el diseño y el trabajo que realizan cada uno de los componentes del sistema de calefacción realizado en el presente trabajo de tesis. Los circuitos eléctricos son incluidos y explicados con particular énfasis en los sensores de flama y de temperatura, así como el circuito de encendido por arco eléctrico, el cual permite tener un control digital de la secuencia, y duración del encendido del calefactor.

### 3.1. Componentes del Calefactor

#### 3.1.1. Armazón del Calefactor

La estructura del calefactor esta compuesta por un tubo cilindrico de fierro de 40 litros de volumen. Como se muestra en la figura siguiente dentro del calefactor se encuentran alojados los siguientes dispositivos:

1. Electroválvula de paso de gas.
2. Bujía del encendido por arco eléctrico.
3. Sensor de flama basado en el fototransistor NPN OP505A.
4. Y a la entrada del tubo se encuentra un ventilador de 40 watts.



Figura 3.1: Armazón del Calefactor

A continuación se describen las características técnicas de cada uno de los componentes antes mencionados.

### 3.1.2. Ventilador

El ventilador es el dispositivo que se utiliza para agitar el aire caliente dentro del invernadero. Básicamente crea una corriente de aire moviendo unas paletas o álabes.

---



Figura 3.2: Ventilador

### 3.1.3. Electroválvula

La características de la electroválvula son las siguientes:

- a) Marca Parker coil KT09 9W
- b) Serie 131-161
- c) Trabaja a 115V/50Hz.



Figura 3.3: Electroválvula

La hoja de especificaciones se encuentra en el Apéndice A.

## 3.2. Circuitos Electrónicos

En esta sección se muestran los circuitos electrónicos correspondientes al sensor de temperatura y de flama, también el circuito de encendido por arco eléctrico y el circuito de etapa de acoplamiento y potencia.

### 3.2.1. Diseño del Acondicionador de Temperatura

Los detalles del diseño del siguiente circuito de temperatura pueden encontrarse en ([Ram06]).

Para diseñar un circuito acondicionador de señales (CAS), interconectado con un microcontrolador, es más fácil reconstruir una función lineal en el microcontrolador, es recomendable que el acondicionador de señales tenga un comportamiento lineal, la ecuación básica de una función lineal es la siguiente.

$$y = mx + b \quad (3.1)$$

Donde:  $x$  es el voltaje de la señal de entrada o la señal proveniente del sensor,  $m$  corresponde a la ganancia del circuito es decir  $G$ ,  $b$  representa al elemento que retiene la señal en un punto determinado en el eje de las abscisas.

#### *Planteamiento del problema*

Diseñar un circuito acondicionador de señal con el fin de conectar un sensor de temperatura con el convertidor A/D de un microcontrolador. El margen de temperatura que se va a medir está comprendido entre  $-5$  y  $50^{\circ}\text{C}$ ; el margen del convertidor A/D está entre  $0$  a  $5\text{V}$ , de  $1$  a  $5$  estará fluctuando la salida del CAS y de  $0$  a  $1$  servirá como margen indicador de posibles fallas. Se requiere que la salida del CAS sea lineal, es decir, que cuando la temperatura medida por el sensor es de  $-5^{\circ}\text{C}$ , la salida del CAS será de  $1\text{V}$ ; cuando el sensor mida  $50^{\circ}\text{C}$  la salida deberá ser de  $5\text{V}$ .

#### **a) Solución**

- El sensor

Si bien el objetivo es diseñar un CAS, que es un circuito de amplificadores operacionales, el punto de partida es el sensor y su ecuación correspondiente, dado que la salida del sensor es la entrada del CAS. El sensor de temperatura utilizado, es el circuito integrado LM35 de National Semiconductor.

---

■ Características principales

El circuito integrado LM35 o LM35A es un sensor de temperatura cuya tensión de salida es linealmente proporcional con la temperatura en la escala Celsius (centígrados) (ver apéndice 2). Posee una precisión aceptable para la aplicación requerida, opera con alimentaciones que van desde 4 a 20 volts, no necesita calibración externa, posee sólo tres terminales, permite el sensado remoto y es de bajo costo.

A continuación se presentan algunas especificaciones técnicas del sensor de temperatura:

- Factor de escala : 10mV/°C (garantizado entre 9,8 y 10,2mV/°C)
- Rango de utilización : -55°C < T < 150°C
- Precisión : aproximadamente 1,5°C (peor caso)
- No linealidad : 1/4 °C.

Con este sensor, se asegura la linealidad en el rango de -5 a 50 °C, La tensión de salida que entrega el sensor, viene dada por la siguiente fórmula:

$$V_{sensor} = 10mVolts \times T(^{\circ}C) \quad (3.2)$$

Donde  $V_{sensor}$  es igual a voltaje de entrada del CAS. La tensión del sensor se necesita amplificar convenientemente para acondicionarla a un rango de tensión en la que el convertidor analógico digital pueda cuantificarla con mayor precisión.

La gráfica que representa a voltaje de salida del sensor en función de la temperatura (°C) se muestra en la Figura 3.4. Se observa que el sensor representa un voltaje lineal en función de la temperatura.

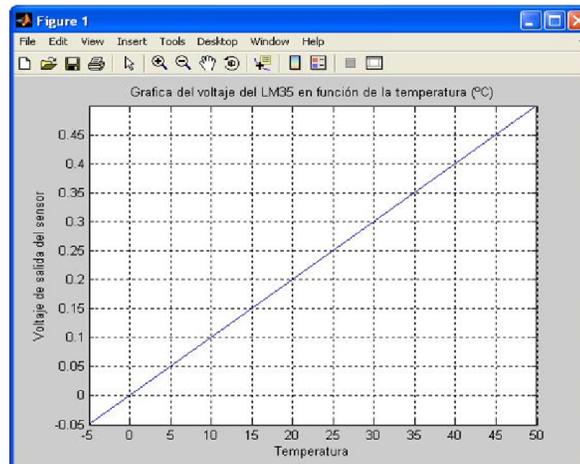


Figura 3.4: Voltaje de Salida del LM35 en Función de la Temperatura.

### b) La ecuación del comportamiento del CAS

Al analizar la gráfica 3.4, se propone un diagrama a bloques el cual se representa en la Figura 3.5, este muestra un diagrama a bloque de este sistema de adquisición de datos para la medición de la temperatura.

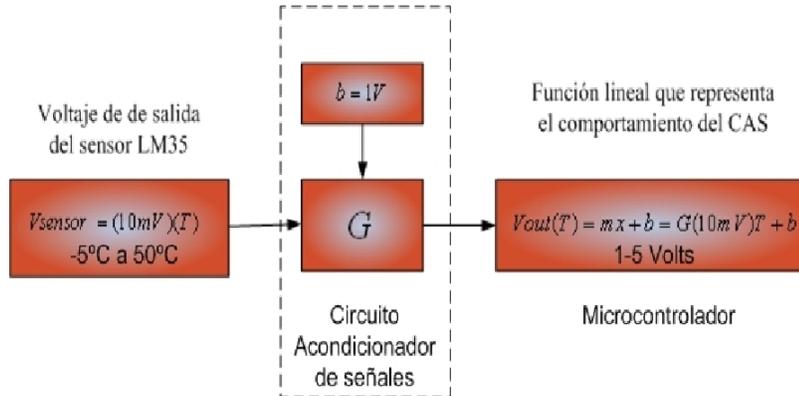


Figura 3.5: Diagrama de la Ecuación del Comportamiento del CAS de Temperatura.

En la Figura 3.5 muestra que  $-5^{\circ}\text{C}$  equivalen a 1 Volt del voltaje de salida, y  $50^{\circ}\text{C}$  se relacionan con 5 Volts de salida. Este es el margen de entrada del CAS el cual tiene que convertir la señal hacia el convertidor A/D. La fórmula que representa la función de salida del CAS es la siguiente:

$$y = mx + b = V_{sal} = (G \times V_{sensor}) + b = (G \times 10mV \times T) + b \quad (3.3)$$

Donde el  $V_{sal}$  es el voltaje de salida del CAS,  $T$  es la variable de temperatura a calcular ( $^{\circ}\text{C}$ ). Analizando la función lineal 3.3, se puede calcular los valores de la pendiente y del elemento sujetador. La fórmula para encontrar la pendiente  $m$  de la recta que une dos puntos  $P_1(X_1, Y_1)$  y  $P_2(X_2, Y_2)$  es la siguiente:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (3.4)$$

Una gráfica ideal del comportamiento del CAS es la que se muestra en la Figura 3.6, esta es una representación de los voltajes de salida y de entrada que tiene el dispositivo acondicionar. El eje vertical represente el voltaje de salida y el horizontal muestra el voltaje proveniente del sensor

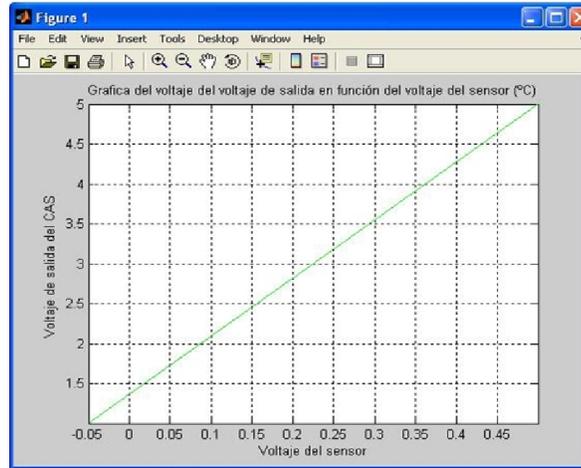


Figura 3.6: Grafica de Voltajes de Entrada/Salida del CAS de Temperatura.

Usando la fórmula 3.4, y dos puntos de la Figura 3.6, es posible encontrar la pendiente de la recta que une a estos dos puntos, es importante considerar, como se menciono anteriormente; *la pendiente representa la ganancia del sistema.*

Considerando que los puntos que se evalúan son los máximos y mínimos puntos de interacción del CAS (la salida y la entrada del CAS) están en términos del voltaje. El primer punto esta en  $P_1(-0.05 \text{ V} , 1 \text{ V})$  y el segundo punto  $P_2(0.5 \text{ V} , 5\text{V})$  , sustituyendo los valores nos da una pendiente de:

$$m = \frac{5 - 1}{0.5 - (-0.05)} = \frac{4}{.55} = 7.272727273 \quad (3.5)$$

Para encontrar el elemento retenedor, es decir  $b$ , es necesario despejarla de la Fórmula 3.3.

$$b = V_{sal} - (G \times V_{sensor}) = V_{sal} - G(10mVxT) \quad (3.6)$$

Sustituyendo para un punto conocido, ejemplo como  $50^\circ\text{C}$  equivalen 5 Volts de salida de voltaje nos resulta:

$$b = y - G(10mVxT) = 5 - 7.272727273(10mVx50) = 1.363636364 \quad (3.7)$$

La fórmula que representa al CAS es la siguiente:

$$V_{out} = G(10mVxT) + b = 7.272727273(10mVxT) + 1.363636364 \quad (3.8)$$

La Figura 3.7 representa la función de la fórmula 3.8. Esta es una función lineal en la que la temperatura se representa en una rango de 1 a 5 Volts.

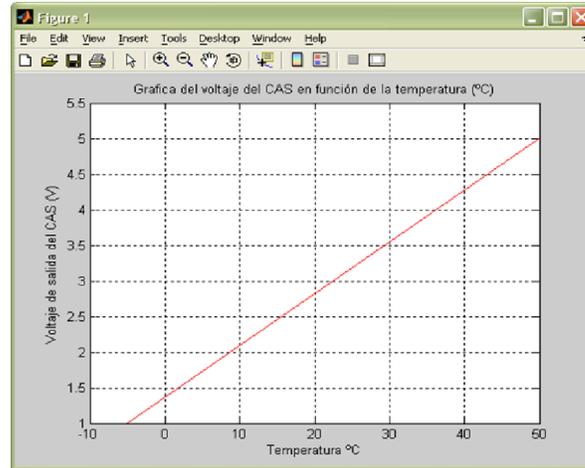


Figura 3.7: Gráfica del CAS de Temperatura.

### c) Diseño de la etapa amplificadora

Una vez obtenida la ecuación de CAS, expresada en la forma  $y = mx + b$ , ahora deseamos un circuito en el que la ganancia de 7.2323 y la desviación de 1.36364 se definan de manera independiente.

Primero se necesita de un amplificador que produzca una ganancia de 7.27273, lo más común sería un amplificador inversor o un no inversor. Pero se debe considerar la ganancia que produce un filtro pasa bajas con una respuesta de Butterworth, en resumen se recomienda que la razón de  $R_1/R_2$  debe ser igual a .586 a fin de producir el factor de amortiguamiento de 1.414 para obtener una respuesta Butterworth de segundo orden.

Pero a la razón .586 se le debe sumar la ganancia unitaria de un amplificador no inversor, con lo que nos da una ganancia de 1.586. Esta es la ganancia del circuito para producir una respuesta máxima plana.

Se sabe que se necesita una ganancia de 7.27273, analizando la etapa de filtrado se conoce que se tiene un factor de ganancia que afecta el producto de ganancia general del CAS; la ganancia del CAS ( $G_{CAS}$ ) es igual a la ganancia de la ganancia del amplificador ( $G_{amp}$ ) multiplicado ganancia del filtro ( $G_{filtro}$ ).

$$G_{CAS} = G_{amp} \times G_{filtro} \quad (3.9)$$

O expresado en decibelios, es la suma de las ganancias (en dB) de las secciones.

$$G_{CASdB} = G_{AmpdB} + G_{filtrodB} \quad (3.10)$$

Para convertir ganancias en decibelios se usa la siguiente relación.

$$G_{dB} = 10 \log(G) \quad (3.11)$$

Por lo que la ganancia de los respectivos sistemas conocidos es el siguiente:

$$G_{CASdB} = 10 \log(G_{CAS}) = 10 \log(7.272727273) = 8.616973019dB \quad (3.12)$$

$$G_{filtrodB} = 10 \log(G_{filtro}) = 10 \log(1.586) = 2.00303186dB \quad (3.13)$$

Por lo tanto se puede despejar y sustituir la ganancia que requiere la sección del amplificador.

$$G_{AmpdB} = G_{CASdB} - G_{filtrodB} = 8.61697dB - 2.0030dB = 6.61394dB \quad (3.14)$$

Si al resultado de la ecuación 3.14 se convierte en términos de ganancia con el fin indicar la razón para el calculo de las resistencia del amplificador:

$$G_{Amp} = 10^{\frac{G_{ampdB}}{10}} = 4.585578325 \quad (3.15)$$

A continuación se formularía la siguiente pregunta, ¿que tipo de amplificador usar, inversor o no inversor?, Si se analiza las ganancias del filtro y del sumador inversor, se puede ver que el filtro tiene ganancia no inversor, y la ganancia del sumador es tipo inversor. Este análisis conduce a concluir que lo ideal sería usar un amplificador inversor, ya que con la ganancia del sumador inversor y del amplificador inversor darían como resultado una señal no invertida, Esto se corrobora multiplicando los signos de las etapas del CAS. Es indispensable que la señal este interactuando en voltajes positivos, de lo contrario se dañaría el convertidor A/D.

Sensor	Amplificador inversor	Filtro	Sumador inversor	Salida
+	-	+	-	+

Tabla 3.1: Signos de las ganancias representativas del CAS.

Si la ganancia de la etapa amplificadora es negativa la salida es positiva, esto se corrobora multiplicando los signos en cada una de sus secciones.

La relación que representa la ganancia del amplificador inversor se muestra en 3.16. Conociendo la ganancia y proponiendo alguna de las resistencias de la fórmula 3.16, es posible encontrar la resistencia que permita obtener la ganancia adecuada. Se recomienda evitar en la medida de lo posible valores grandes de  $R_i$  y  $R_f$ , ya que interviene en la ganancia del ruido. Pero también recomiendan usar resistencias por arriba de  $1k\Omega$ .

$$A_{CL} = V_o/E_i = -R_f/R_i \quad (3.16)$$

Proponiendo  $R_f = 10k\Omega$  y una ganancia en lazo cerrado de la etapa amplificadora igual a 4.5856, se despeja

$$R_i = \frac{R_f}{A_{CL}} = \frac{10k\Omega}{4.5856} = 2180.75\Omega \quad (3.17)$$

Ya que la resistencia calculada da un no valor comercial, es indispensable utilizar un potenciómetro de precisión, con este dispositivo será posible calibrar la ganancia de la etapa amplificadora del CAS.

#### d) Diseño de la etapa de filtrado

En esta sección se diseñará la etapa de filtrado de la CAS. El circuito de segundo orden que filtra las señales de baja frecuencia es el de filtro pasa-bajas de Sallen-Key, se menciona que la ganancia del filtro debe ser de 1.586 para considerar una respuesta de Butterworth (esto para obtener una máxima respuesta plana) la cual proporciona el resultado de la razón entre  $R_f$  y  $R_i$ , el cual es de .586 (debe recordarse que se usa un amplificador no inversor por lo que se le suma 1 a relación de la ganancia). Proponiendo a  $R_f$  de 30 K $\Omega$  se despeja  $R_i$  de la relación del amplificador no inversor.

$$A_V = \left(\frac{R_2}{R_i}\right) + 1 \quad (3.18)$$

$$R_i = \frac{R_2}{A_v - 1} = \frac{30K\Omega}{1.586 - 1} = 51.194K\Omega \quad (3.19)$$

Por economía de diseño los valores de 30 K $\Omega$  y 51.2 K $\Omega$  se pueden lograr con la suma de resistencias de valores comerciales.

Para diseñar la frecuencia de corte debe considerarse las características eléctricas del sensor, para ello se analiza la gráfica del porcentaje del valor final con relación al tiempo.

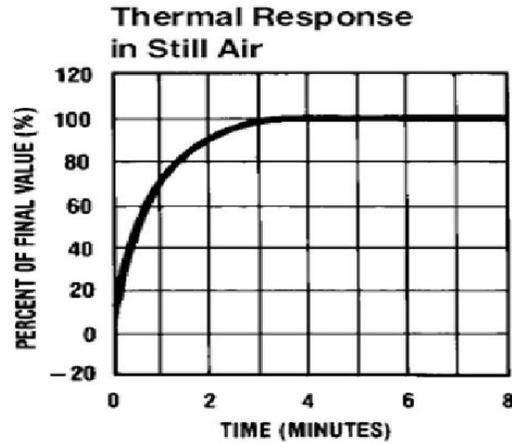


Figura 3.8: Relacion del Porcentaje del Valor Final Respecto al Tiempo.

Como lo indica la Figura 3.8 el tiempo que tarda en tomar su valor final al 100 % son 3 minutos, esto le correspondería un frecuencia de muy baja frecuencia. Lo que se requiere es filtrar señales de ruido, un filtro pasa bajas de 10 Hz es suficiente como frecuencia de corte, la frecuencia seleccionada asegura perfectamente el filtrado de la señal proveniente del sensor. La frecuencia de corte para el filtro pasa bajas de Sallen Key se calcula proponiendo el valor de un capacitor, en este caso el valor del capacitor es de  $.1\mu f$ , se puede despejar de la relación siguiente:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \Pi \cdot C \cdot f_c} = \frac{1}{2 \cdot \Pi \cdot .1\mu f \cdot 10Hz} = 159.15K\Omega \quad (3.20)$$

e) **Diseño de la etapa de retención**

Existe una región de 0 a 1 Volt que sirve para advertir de un mal funcionamiento en el CAS, las causas que podrían ejemplificar este mal funcionamiento son:

- Corte del cable de comunicación.
- Falta de alimentación en las etapas de los circuitos.
- Error en alguna de las etapas anteriores.

Gracias a estas advertencias permiten que el sensor sea un dispositivo inteligente y versátil. La entrada que recibe esta etapa es negativa. Para simplificación de circuitos, sería recomendable que esta sección del CAS tenga una ganancia negativa. Con el fin de obtener una salida positiva. Se debe notar que el voltaje que se le suma debe ser negativo. Como se analizó esta tiene una ganancia invertida lo cual lo vuelve un circuito ideal en el diseño.

Lo que se requiere fundamentalmente es sumar a la señal del filtro un valor fijo que se calculó en 3.8. El valor del elemento desplazador es  $b = 1.3636V$ . Para diseñar este valor simplemente se requiere un divisor de tensión, este divisor de tensión deberá estar estabilizado y deberá tener una fácil calibración para obtener un mejor resolución del valor.

Considerando estos términos, el circuito que representa este funcionamiento se ve en la Figura 3.9.

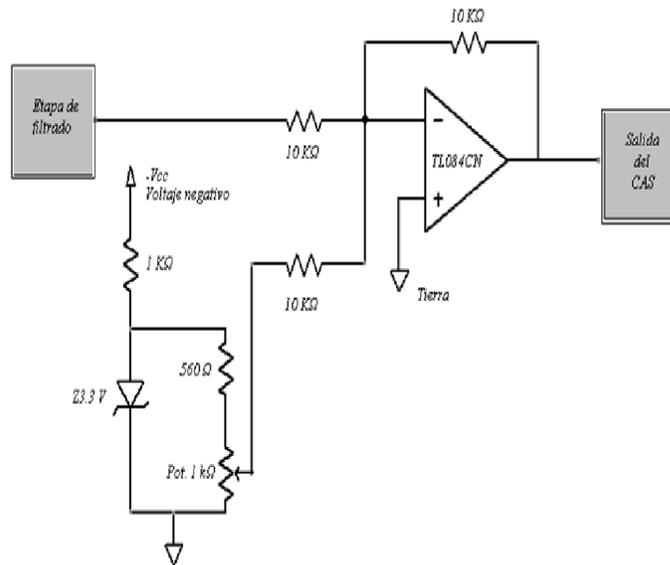


Figura 3.9: Circuito que Suma 1.3636V a la Señal del Filtro.

El zener se utiliza como fuente de alimentación para disminuir el voltaje a 3.3 Volts, esto con el fin de bajar el voltaje a un valor menor, permitirá que el potenciómetro (Pot. de 1 KΩ) pueda calibrar más fácilmente el valor deseado. La resistencia de 560 KΩ sirve como divisor de tensión, bajando la tensión que se encuentra en los bornes del potenciómetro. Las resistencias de 10 KΩ le da una ganancia unitaria al sumador inversor.

#### f) Simulación del CAS de temperatura

Todo circuito que requiere simulación necesita un editor de circuitos, Protel DXP puede simular estos circuitos mostrando sus respuestas en el tiempo y frecuencia, este programa es muy potente en el diseño de circuitos.

El circuito esquemático del CAS de temperatura se muestran en la Figura 3.10. Esta compuesto de tres amplificadores operacionales (TL084CN), La primer etapa lo compone un amplificador inversor, después lo acompaña una etapa de filtrado de 100 Hz y por último una etapa de retención de la señal.

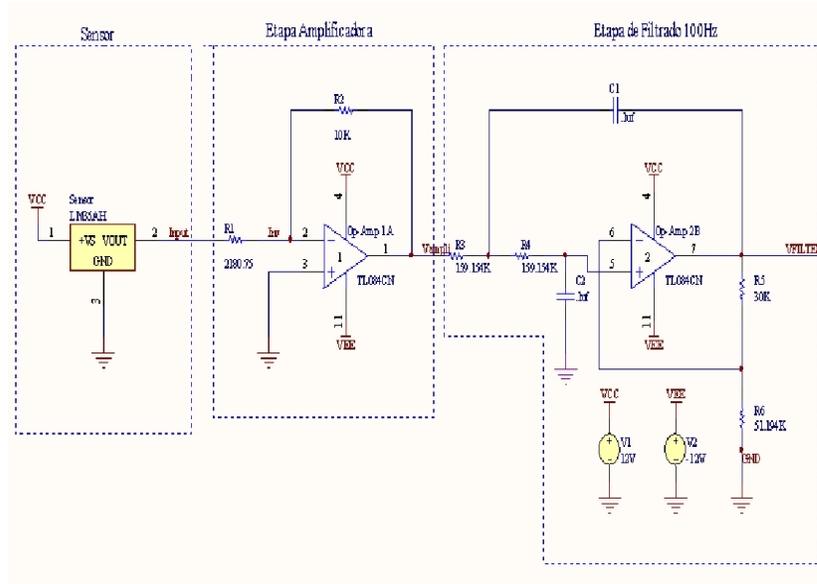


Figura 3.10: Circuito Esquemático de las Etapas del CAS de Temperatura.

En la Figura 3.11 se muestran la respuesta de la salida en función del tiempo,. Esta simulación se realizó para una entrada máxima de 50°C equivalentes a 5 Volts a la salida del CAS. Además se muestra un retardo en la estabilización de la señal de aproximadamente 150 ms (milisegundos), esto se debe a que el CAS utiliza un filtro pasa bajas y esto ocasiona que se retarden las señales.



Figura 3.11: Voltaje de Entrada y Salida de CAS en el Tiempo.

Además la simulación permite graficar cualquier señal que se requiera en relación a otra señal. La gráfica 3.12 muestra la señal de entrada con la

salida del CAS. Como se puede ver la gráfica es casi idéntica a la gráfica de diseño 3.6 (difiere un poco en que en la simulación solo se usaron voltajes positivos), Con lo que se corrobora que el circuito es ideal para la aplicación en la que se diseñó.

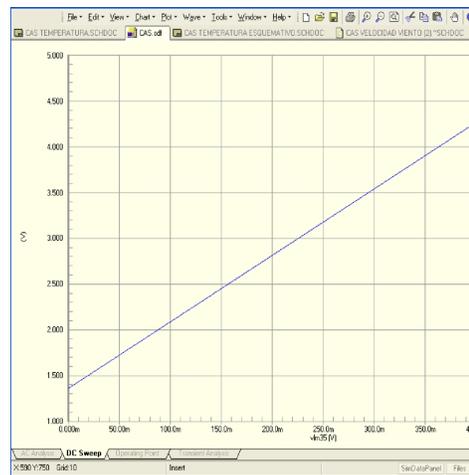


Figura 3.12: Relacion del Voltaje de Entrada y Salida del CAS.

La gráfica que simula el voltaje de pequeña señal alterno producido por el ruido en función de la frecuencia que representa el filtro pasa bajas a la salida del circuito acondicionador de señales, que se muestra en la Figura 3.13. El eje horizontal muestra una escala logarítmica de la frecuencia, se puede ver que al 70.7% de la amplitud máxima de la señal decae a la frecuencia de corte, es decir a 10 Hz corresponden aproximadamente 25 mV. Esta gráfica demuestra que en la simulación el circuito funciona perfectamente de acuerdo al diseño.

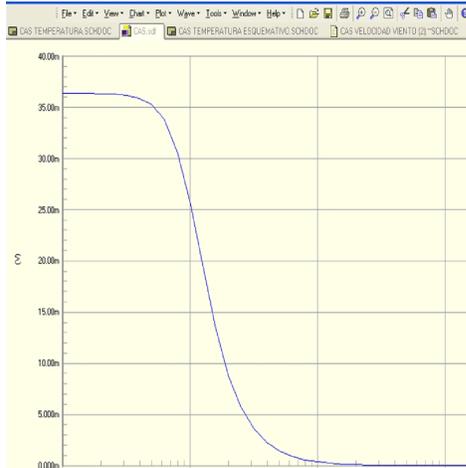


Figura 3.13: Respuesta de la Frecuencia del CAS de Temperatura.

### 3.2.2. Sensor de Flama

El sensor de flama está compuesto básicamente por un fototransistor NPN OP505A, un amplificador operacional LM324.

#### a) Fototransistor

Un fototransistor es una combinación integrada de fotodiodo y transistor bipolar NPN (sensible a la luz) donde la base recibe la radiación óptica. Es una de las combinaciones fotodiodo amplificador más simples. Dirigiendo una fuente de luz hacia la unión PN polarizada en sentido inverso (colector-base), se genera una corriente de base, que es amplificada por la ganancia de corriente del transistor.



Figura 3.14: Diagrama de un Fototransistor NPN

La corriente inducida por el efecto fotoeléctrico es la corriente de base del transistor. Si asignamos la notación  $I_{bf}$  para la corriente de base fotoinducida, la corriente de colector resultante, de forma aproximada, es:

$$I_c = h_{fe} * I_{bf}$$

El funcionamiento de un fototransistor viene caracterizado por los siguientes puntos:

- Al exponer el fototransistor a la luz, los fotones entran en contacto con la base del mismo, generando huecos y con ello una corriente de base que hace que el transistor entre en la región activa, y se presente una corriente de colector a emisor. Es decir, los fotones en este caso, reemplazan la corriente de base que normalmente se aplica eléctricamente. Es por este motivo que a menudo la patilla correspondiente a la base está ausente del transistor. La característica más sobresaliente de un fototransistor es que permite detectar luz y amplificar mediante el uso de un sólo dispositivo ( $I_b = 0$ ).
- La sensibilidad de un fototransistor es superior a la de un fotodiodo, ya que la pequeña corriente fotogenerada es multiplicada por la ganancia del transistor

#### b) Amplificador operacional

El circuito integrado LM324 está constituido por 4 amplificadores operacionales lo cual permite considerar la posibilidad de colocar sensores de flama adicionales para mayor seguridad y confiabilidad, es de alimentación unipolar, fácil reemplazo y económico.

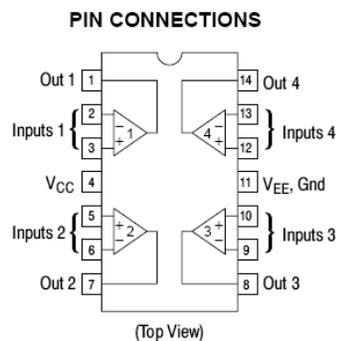


Figura 3.15: LM324

El fototransistor es un sensor analógico, es decir que entrega una salida variable dentro de un determinado rango, debido a esto se utiliza un amplificador operacional que permite interpretar sus variaciones y entregar una salida variable con valores entre 0 y 5 voltios (señal digital).

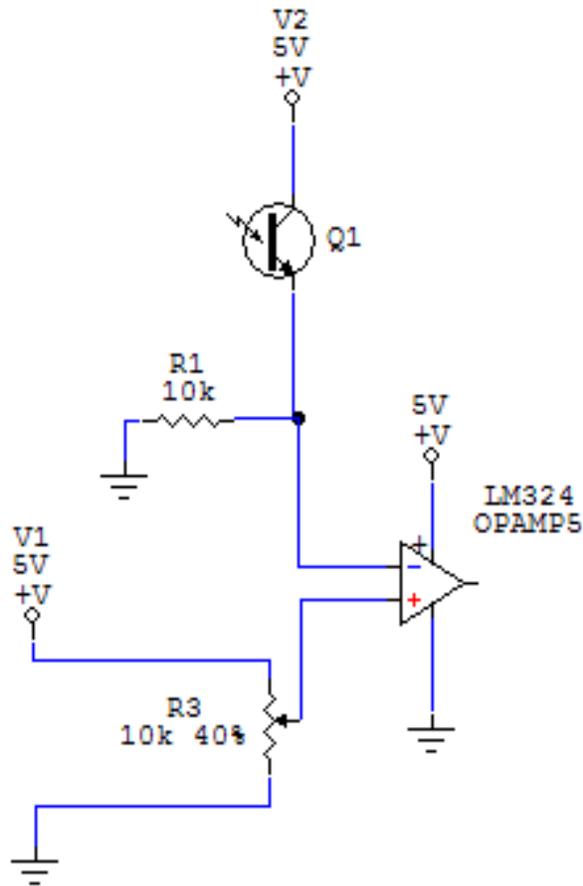


Figura 3.16: Circuito Sensor de Flama

### 3.2.3. Circuito de Encendido por Arco Eléctrico

Este circuito está basado en el encendido eléctrico convencional de un automóvil, cuyos elementos y funcionamiento se detallan a continuación.

#### 1. Elementos

- La batería: El vehículo tiene bastantes requerimientos de corriente eléctrica de 12 voltios, las luces, los limpiadores, los accesorios, el motor de arranque, etc. Toda la corriente que se necesita está almacenada en la batería.
- Bobina: Es el elemento que convierte la corriente de baja tensión de la batería en corriente de alta tensión requerida por las bujías, para poder crear una chispa capaz de quemar la mezcla aire-gasolina comprimida dentro del cilindro del motor.

- Bujías: Las bujías permiten hacer saltar una chispa entre sus dos electrodos para quemar la mezcla dentro de cada uno de los cilindros del motor.
- Distribuidor: Este elemento actúa para que la bobina eleve la tensión de la corriente de la batería y luego recibe la corriente ya elevada de la bobina y la envía hacia las bujías. La parte inferior del distribuidor se incrusta en el motor y es movido por el árbol de levas.
- Platinos: Se emplean para abrir y cerrar el circuito primario de la bobina, lo que produce la corriente de alta tensión.
- Instalación de alta: Son los cables que conducen la corriente de alta tensión.
- Interruptor de encendido: Es el elemento encargado de dejar pasar o no, la corriente de la batería hacia el sistema de encendido, también permite accionar el motor de arranque quien es el encargado de darle las primeras vueltas al motor de gasolina con el fin de realizar la primera admisión, compresión y explosión.

## 2. Funcionamiento

Cuando el conductor gira la llave y hace trabajar al motor de arranque (marcha) comienzan los primeros giros del motor iniciándose así el funcionamiento del sistema de encendido. La corriente pasa de la batería, por el switch hacia el distribuidor. Primero al condensador y luego a los platinos. Los platinos se abren y se cierran por acción de la leva a razón de la mitad de giros del motor, generando en la bobina la inducción de la corriente de alta tensión.

El impulso de corriente producido sale conducido por el cable que lo lleva hasta el distribuidor quien lo transmite luego a la bujía correspondiente. Ya en la bujía forma una chispa al saltar de un electrodo a otro. Si todo va bien en ese instante el pistón debe estar comprimiendo la mezcla, cosa que hará que se produzca la explosión.

## 3. Solución

Partiendo del funcionamiento del encendido de un automóvil, son necesarios los siguientes elementos para crear un generador de arco eléctrico:

- Fuente de alimentación: Cualquier fuente capaz de proporcionar 12 volts de corriente directa, debe ser independiente a cualquier otra fuente de alimentación empleada en el proyecto.
-



Figura 3.17: Fuente de Alimentación

- Bobina: Es una bobina de automóvil marca BOSH de 12 Volts. Convierte la tensión de 12 volts en una alta tensión del orden de 12000 a 15000 volts.

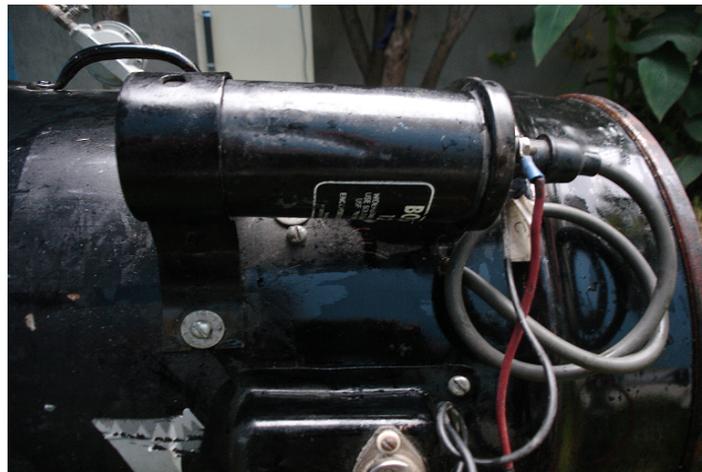


Figura 3.18: Bobina

- Bujía: La empleada en este trabajo es una bujía para automóvil marca Champion.

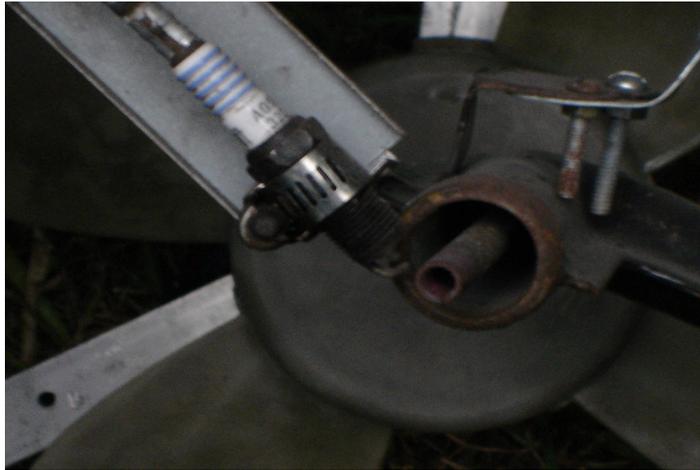


Figura 3.19: Bujía

- Cable de alta tensión: El mismo que se usa en cualquier automóvil.



Figura 3.20: Cable de Alta Tensión

- Transistor de potencia: Es el elemento utilizado para desempeñar la misma función que los platinos. El transistor usado es: MJ1505 de Motorola.
  - Generador de impulsos: Debido a que es necesario conectar y desconectar los platinos (en nuestro caso el transistor) en función del número de revoluciones del motor, resulta fundamental un generador de impulsos que sustituya la acción mecánica realizada en un motor. Suponiendo que un motor gira a 3000 revoluciones por minuto y sabiendo que la leva de un motor, (la cual gira la mitad de vueltas que el motor), es quien realiza la conexión-desconexión de
-

los platinos originando así la chispa, podemos deducir lo siguiente: Que el motor gira 50 veces por segundo. Que el platino se desconecta 25 veces por segundo por bujía, generando 25 chispas en dicha bujía en un segundo. Por lo tanto cada bujía realiza 1500 chispas por minuto.

El circuito usado es el temporizador LM555 a 25 Hz. (1500 chispas por minuto).

- Interruptor de Encendido: En este caso el encendido esta controlado directamente por el microcontrolador usando el optoacoplador 4N28 para aislar ambos circuitos.

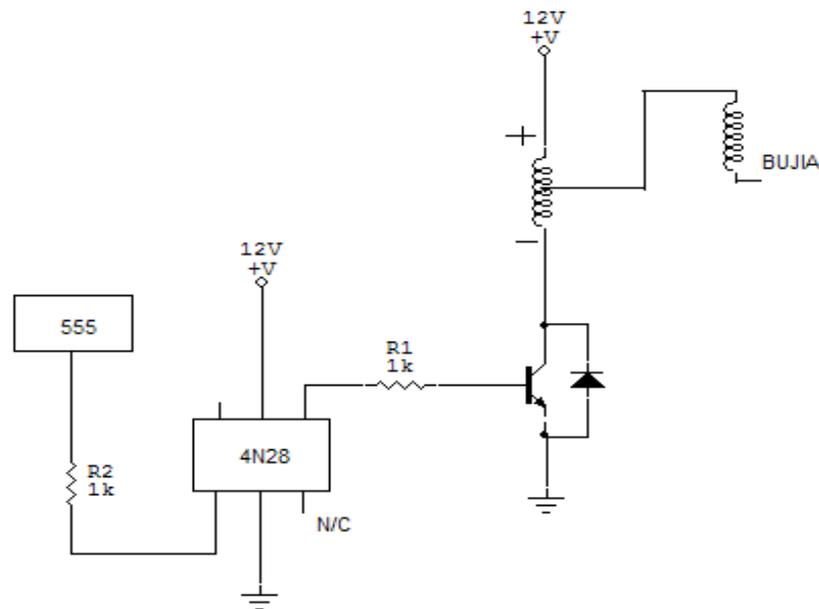


Figura 3.21: Circuito de Encendido por Arco Eléctrico

### 3.2.4. Etapa de Acoplamiento y Potencia

La etapa de acoplamiento esta constituida por optoacopladores 4N28, cuya función es aislar y proteger al microcontrolador de la etapa de potencia.

Para poder conectar los actuadores (ventilador, electroválvula, chispa) al microcontrolador se utilizo un TIP110 y un relevador RAS-0610 (10A/120V).

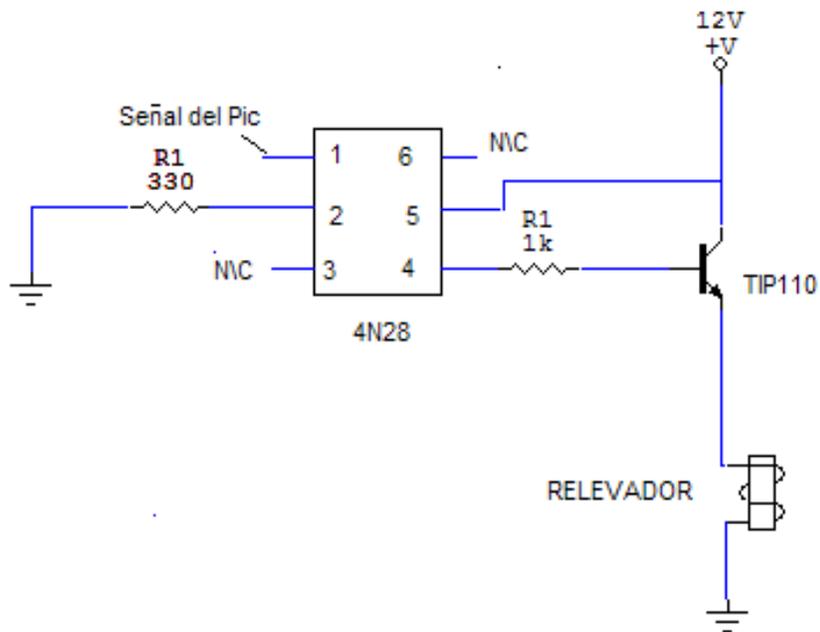


Figura 3.22: Circuito de Acoplamiento y Potencia

# Capítulo 4

## Instrumentación Virtual (LabVIEW)

En este Capítulo se da una definición de LabVIEW y se hace mención de los conceptos básicos que se deben tener en cuenta antes de comenzar a programar. En la Sección 4.3 se explica como está integrado el menú de LabVIEW y que opciones nos ofrece cada uno. En la Sección 4.4 se abordan las herramientas con las que cuenta LabVIEW y para que sirve cada una. En la Sección 4.5 se explican los recursos con los que cuenta LabVIEW para configurar el puerto serial, el cual permite comunicarnos con el sistema mínimo.

### 4.1. Definición de LabVIEW

LabVIEW es un ambiente de desarrollo de programas, tal como C, BASIC o el LabWindows de National Instruments. Sin embargo, LabVIEW es diferente de estas aplicaciones en un aspecto importante. Estas aplicaciones hacen uso de sistemas de programación basados en texto para crear líneas de código, mientras LabVIEW usa un lenguaje de programación gráfico, lenguaje G, para crear programas en forma de diagramas de bloques. LabVIEW tiene extensas bibliotecas de funciones para cualquier tarea de la programación ([VIS00]).

LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis, presentación y guardado de datos ([VIS00]).

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos

e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones.

## 4.2. Conceptos Básicos

### 4.2.1. Instrumentos Virtuales

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan *Instrumentos Virtuales* (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real.

Un instrumento virtual (VI) es un programa desarrollado en Lenguaje G. Un VI consiste de una interfaz de usuario interactiva (panel frontal), un código fuente (diagrama de bloques), iconos y conectores.

Los VIs se estructuran de la siguiente manera:

- La interfaz del usuario interactiva de un VI se llama panel frontal, porque simula el tablero de un instrumento físico. El panel frontal puede contener perillas, botones, gráficos, etc.
- Los VIs reciben instrucciones de un diagrama de bloques que se desarrolla en G (programación gráfica). El diagrama de bloques es una solución gráfica a un problema de programación y es también el código fuente para los VIs.
- Los VIs son jerárquicos y modulares. Pueden usarse como programas principales, o como subprogramas dentro de otros programas. Un VI dentro de otro VI se llama un *subVI*. El icono y conector de un VI trabaja como una lista de parámetros gráfica para que otros VIs puedan pasar datos a un subVI.

Como en otras aplicaciones, el programador puede almacenar sus VIs en archivos simples. Con G, puede salvar múltiples VIs en un solo archivo llamado una librería de VIs.

### 4.2.2. Controles e Indicadores

Un *control* es un objeto que se coloca en el panel frontal para entrar datos a un VI interactivamente o en un subVI programáticamente (entradas).

Un *indicador* es un objeto que se coloca en el panel frontal para desplegar información (salidas).

Los controles e indicadores en G son similares a las entradas y salidas, respectivamente, en lenguajes tradicionales. La mecánica de programación consta

---

en colocar controles e indicadores en el panel frontal y alambrándolos entonces a funciones o VIs en el diagrama de bloques. Cada vez que el programador crea un nuevo control o indicador en el panel frontal, LabVIEW crea el terminal correspondiente en el diagrama de bloques.

### 4.2.3. Terminales

Las *terminales* son puertos de entradas y salidas que cambian información entre el panel frontal y el diagrama de bloques.

### 4.2.4. Alambres

Un *alambre* es el camino de los datos entre los nodos. Los alambres están coloreados según el tipo de dato que transportan. Los alambres azules contienen números enteros, los naranjas números en punto flotante, los alambres verdes booleanos, y los alambres rosas cadenas de caracteres.

Un alambre interrumpido representa un alambre mal conectado. Se puede tener una mala conexión por muchas razones, como conectar dos controles, o conectar un terminal fuente a un terminal destino cuando los tipos de datos no son iguales, etc. Puede quitarse entonces estos alambres mal conectados haciendo un click sobre él con la herramienta de posición y presionando la tecla <Del>, o eligiendo la opción Edit>Remove Bad Wires o usando la combinación de teclas <Ctrl-B>, esta última anula todos los alambres mal conectados en el diagrama de bloques.

### 4.2.5. Unión

El punto donde tres o cuatro segmentos del alambre se unen se denomina *unión*. Una rama del alambre contiene todo el alambre de una unión a otra, de un terminal a la próxima unión, o de un terminal a otro si no hay ninguna unión entre ellos.

### 4.2.6. Panel Frontal y Diagrama de Bloques

LabVIEW utiliza dos pantallas para el desarrollo de programas, *el panel frontal y el diagrama de bloques*.

#### a) Panel Frontal

Es la interfaz de usuario. Generalmente, primero se diseña el panel frontal y después el diagrama de bloques. En el panel frontal se crean las entradas y salidas, como se muestra en la (Fig 4.1)

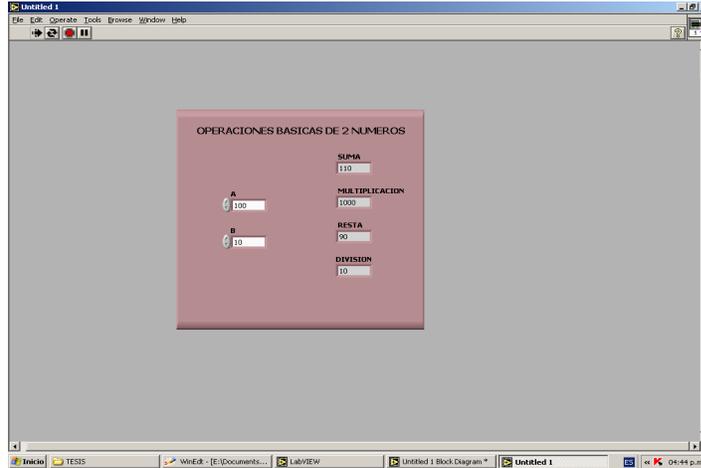


Figura 4.1: Ejemplo de un Panel Frontal

Es posible construir un panel frontal con indicadores y controles. Los controles son: perillas, botones, selectores y otros dispositivos de entrada. Los indicadores son: gráficas, LED's y otros displays de salida.

#### b) Diagrama de Bloques

Después de construir el panel frontal, se agrega el código necesario usando la representación gráfica de las funciones de los objetos (controles e indicadores) del panel frontal.

El diagrama de bloques contiene el código fuente, el cual es gráfico, (Fig 4.2)

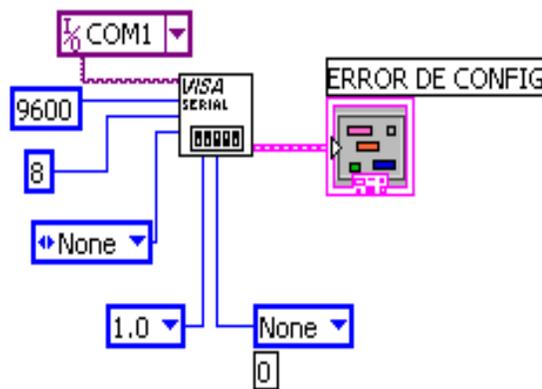


Figura 4.2: Ejemplo de un Diagrama de Bloques

Los controles e indicadores del panel frontal aparecen como terminales

en el diagrama de bloques.

Los objetos en el diagrama de bloques incluye terminales, nodos y funciones. El diagrama bloques puede construirse conectando los objetos con cables.

### 4.3. Menú de LabVIEW

La barra de menús de la parte superior de la ventana de un archivo en LabVIEW contiene diversos menús desplegables.

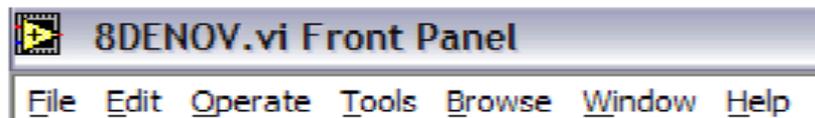


Figura 4.3: Barra de Menú de un Archivo de LabVIEW

- a) **File:** Sus opciones se usan básicamente para abrir, cerrar, guardar e imprimir VIs.
- b) **Edit:** Se usa principalmente para organizar el panel frontal y el diagrama de bloques y establecer las preferencias.
- c) **Operate:** Sus comandos sirven para ejecutar el VI. Presenta opciones como la impresión cuando acaba la ejecución, etc.
- d) **Project:** Presenta los niveles de jerarquía, los SubVI's que lo integran, los que están sin abrir, busca VIs, etc.
- e) **Windows:** Se utiliza básicamente para mostrar ventanas, como pueden ser paleta de Herramientas, de controles, lista de errores, etc.  
En esta opción tenemos dos ventanas importantes que son las siguientes:

- 1) **Paleta de Herramientas:** Se obtienen al pulsar Shift+<clic derecho>del mouse sobre un espacio vacío o mediante la opción *show tools palette* del menú windows, (Fig 4.4)

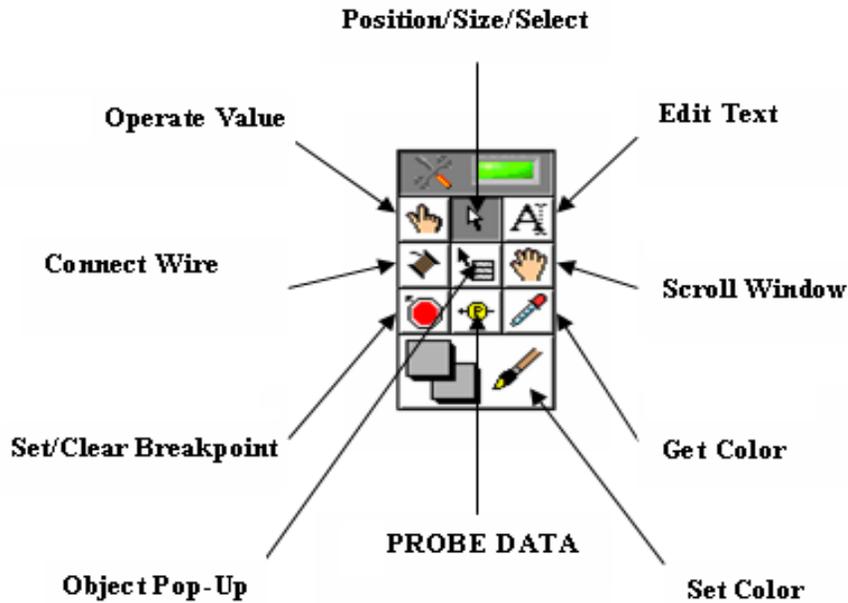


Figura 4.4: Paleta de Herramientas

La herramienta se selecciona haciendo un click sobre el icono de la herramienta requerida.

- **Operate Value:** Maneja los controles del panel frontal.
- **Position/Size/Select:** Selecciona, mueve y cambia el tamaño y forma de los objetos.
- **Edit Text:** Crea y edita textos.
- **Connect Wire:** Enlaza objetos del diagrama de bloques y asigna a los terminales del conector del VI los controles e indicadores del panel frontal.
- **Object Pop-Up:** Despliega el menú emergente asociado al objeto. Tiene el mismo efecto que si se pulsara el botón derecho del mouse sobre el objeto.
- **Scroll Window:** Desplaza la pantalla en la dirección que se desee para ver posibles zonas ocultas.
- **Set/Clear Breakpoint:** Permite poner tantos puntos de ruptura como se desee a lo largo de un diagrama de bloques. Cuando durante la ejecución se llegue a uno de ellos, LabVIEW conmuta automáticamente al diagrama de bloques. Se usa esta misma herramienta para quitar estos puntos.

- **Probe Data:** Sirve para comprobar los valores intermedios dentro de un VI que es ejecutable pero que genera resultados sospechosos o inesperados.
  - **Get Color:** Permite saber de manera específica qué color tiene un objeto, texto u otro elemento.
  - **Set Color:** Colorea diversos objetos y fondos.
- 2) **Paleta de Controles:** Se obtienen al pulsar clic derecho del mouse sobre un espacio vacío o mediante la opción show controls palette del menú windows, solo si nos encontramos en el panel frontal.

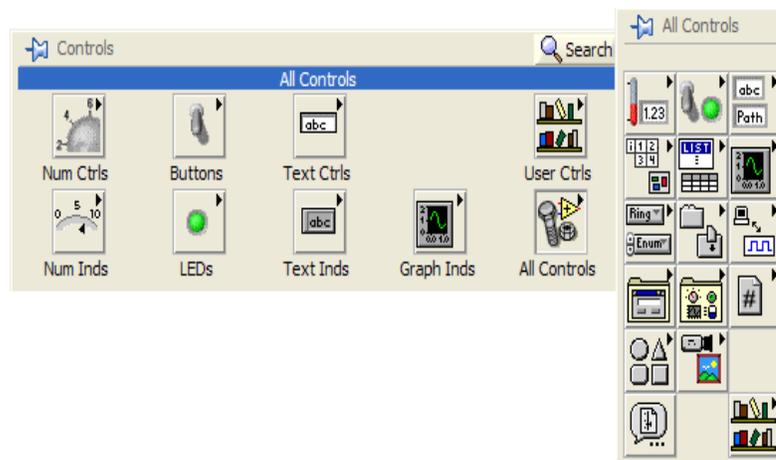


Figura 4.5: Paleta de Controles

- **Numeric Controls:** Para la introducción de cantidades numéricas.
- **Buttons & Switches:** Para la entrada y visualización de valores booleanos.
- **Text Controls:** Para la entrada de texto.
- **Numeric Indicators:** Para visualizar cantidades numéricas.
- **LEDs:** Para visualizar un valor booleano.
- **Text Indicators:** Para visualizar textos.
- **Graph Indicators:** Para representar gráficamente los datos.
- **String & Table:** Para la entrada y visualización de texto.
- **List & Ring:** Para visualizar y/o seleccionar una lista de opciones.
- **Array & Cluster:** Para agrupar elementos.
- **Graph:** Para representar gráficamente los datos.
- **Path & RefNum:** Para gestión de archivos.

- **Path & RefNum:** Para gestión de archivos.
- **Decorations:** Para introducir decoraciones en el panel frontal. No visualiza datos.
- **User Controls:** Para elegir un control creado por el propio usuario.
- **ActiveX:** Para transferir datos y programas de unas aplicaciones a otras dentro de Windows.
- **Select a Control:** Para seleccionar cualquier control. Al seleccionar objetos desde el menú *Controls* estos aparecen sobre el panel frontal, pueden colocarse donde convenga, y además tienen su propio menú desplegable que permite la configuración de algunos parámetros específicos de cada tipo de control.

### 3) Paleta de Funciones

Sin embargo cuando estamos en el diagrama de bloques aparece si pulsamos < clic derecho > sobre un espacio vacío.

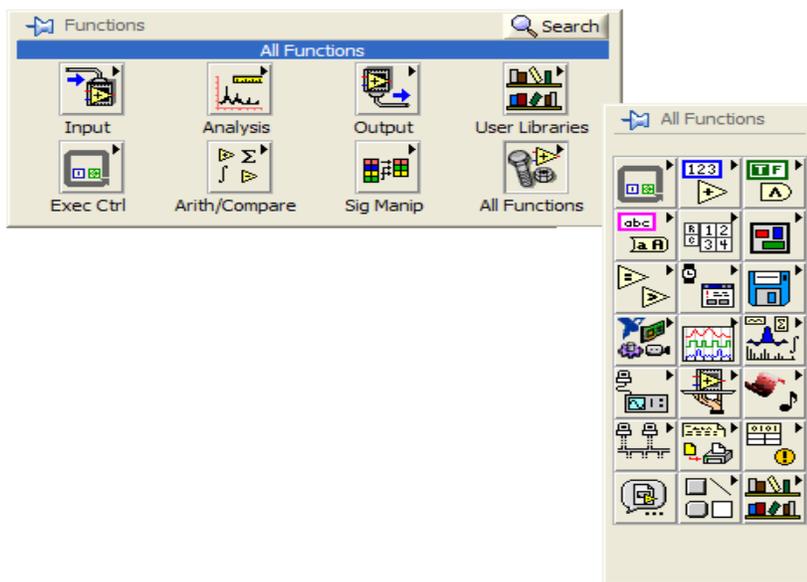


Figura 4.6: Paleta de Funciones

- **Structures:** Muestra las estructuras de control del programa, junto con las variables locales y globales.
- **Numeric:** Muestra funciones aritméticas y constantes numéricas.
- **Boolean:** Muestra funciones y constantes lógicas.
- **String:** Muestra funciones para manipular cadenas de caracteres, así como constantes de caracteres.

- **Array:** Contiene funciones útiles para procesar datos en forma de vectores, así como constantes de vectores.
  - **Cluster:** Contiene funciones útiles para procesar datos procedentes de gráficas y destinados a ser representados en ellas, así como las correspondientes constantes.
  - **Comparison:** Muestra funciones que sirven para comparar números, valores booleanos o cadenas de caracteres.
  - **Time & Dialog:** Contiene funciones para trabajar con cuadros de diálogo, introducir contadores y retardos, etc.
  - **File I/O:** Muestra funciones para operar con archivos.
  - **Communication:** Muestra diversas funciones que sirven para comunicar varios ordenadores entre sí, o para permitir la comunicación entre distintos programas.
  - **Instrument I/O:** Muestra un submenú de VIs, que facilita la comunicación con instrumentos periféricos que siguen la norma ANSI/IEEE 488.2-1987, y el control del puerto serie.
  - **Data Acquisition:** Contiene a su vez un submenú donde puede elegirse entre distintas librerías para la adquisición de datos.
  - **Analysis:** Contiene un submenú en el que se puede elegir entre una amplia gama de funciones matemáticas de análisis.
  - **Tutorial:** Incluye un menú de VIs que se utilizan en el manual LabVIEW Tutorial.
  - **Advanced:** Contiene diversos submenús que permiten el control de la ayuda, de los VIs, manipulación de datos, procesado de eventos, control de la memoria, empleo de programas ejecutables o incluidos en librerías DLL, etc.
  - **Instrument drivers:** En él se muestran los drivers disponibles de distintos instrumentos.
  - **User Libraries:** Muestra las librerías definidas por el usuario. En este caso, la librería mostrada contiene los drivers de la tarjeta de adquisición de datos de Advantech.
  - **Application control:** Contiene varias funciones que regulan el funcionamiento de la propia aplicación en ejecución.
  - **Select a VI:** Permite seleccionar cualquier VI para emplearlo como subVI.
- f) **Help:** Presenta ayuda sobre los diferentes iconos y otros aspectos de LabVIEW. El menú de LabVIEW que con más frecuencia se utiliza es el menú de objetos, al cual se accede situando el cursor sobre el objeto y pulsando el botón derecho del mouse. Si la pulsación se hace sobre un espacio vacío, el menú que se obtendrá vendrá en función de la herramienta
-

ta seleccionada.

### 4.3.1. Controles de Ejecución

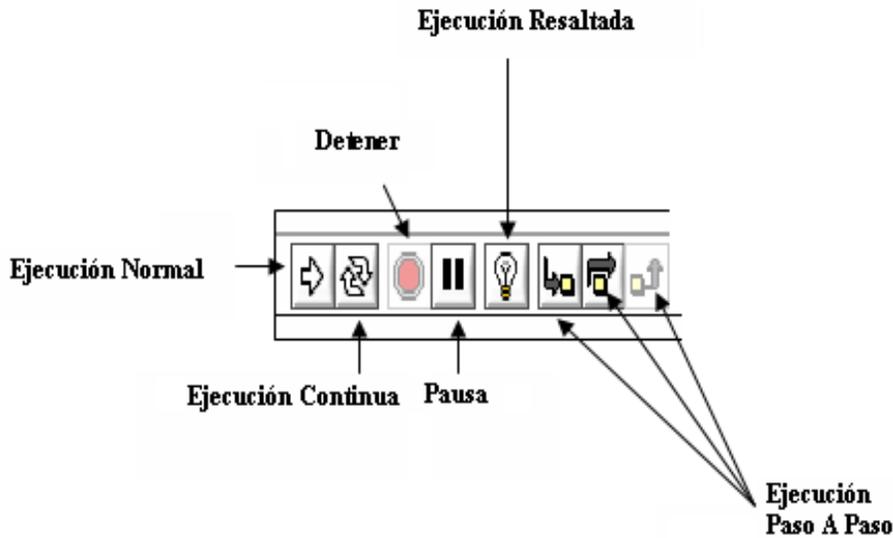


Figura 4.7: Controles de Ejecución

- **Ejecución Normal:** Ejecuta el programa (una sola vez si el programa no cuenta con secuencias repetitivas). Cuando el botón presenta apariencia de flecha rota, LabVIEW indica que el programa no se puede ejecutar por alguna razón (mala conexión, etc.) Al hacer click sobre este botón, LabVIEW muestra un cuadro con la lista de errores, donde se muestran los errores que contiene el VI y permite ir hacia ellos haciendo click sobre cada uno.
- **Ejecución Continua:** Ejecuta el programa repetitivamente.
- **Detener:** Interrumpe la ejecución de un VI en cualquier momento.
- **Pausa:** Realiza una pausa durante la ejecución de un VI. Se reinicia la ejecución del VI volviendo a hacer click en el botón.
- **Ejecución Resaltada:** Cambia al hacer click sobre él. Para volver a ejecución normal basta con volver a presionarlo. Permite observar cómo se realiza el flujo de datos a través de los nodos del diagrama de bloques. Este modo de ejecución la hace más lenta. A medida que los datos pasan de un nodo a otro su movimiento se indica por medio de unas burbujas que van recorriendo los cables.

- **Ejecución Paso A Paso:** Al hacer click sobre los iconos se obtiene un modo de ejecución que permite mostrar el desarrollo del programa operación por operación, quedando en estado de pausa luego de cada paso. Su función se diferencia únicamente cuando en el programa existe una estructura (como While, For Loop, Case, etc). El botón permite saltar el objeto, ejecutándolo en forma normal (muy conveniente en el caso de que se tenga una estructura repetitiva con muchas repeticiones). Para volver al modo de ejecución normal se pulsa el botón .

## 4.4. LabVIEW VISA

El módulo NI-VISA implementado en LabVIEW es un lenguaje de entrada/salida de datos que se utiliza en la programación de instrumentación. VISA es un API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) de alto nivel que hace llamadas a los controladores de bajo nivel.

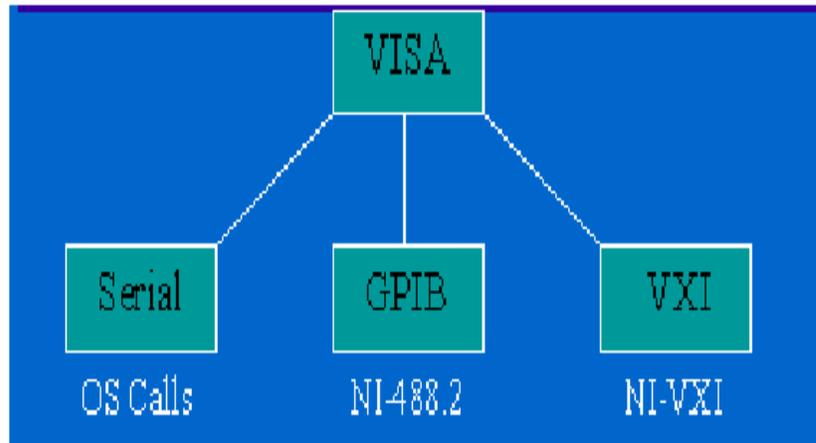


Figura 4.8: Jerarquía con la que Opera NI-VISA

VISA tiene la capacidad de controlar instrumentos GPIB (Bus de Interfaz de Propósito General) , VXI (norma que define las características mecánicas, eléctricas, los protocolos, que puedan emplearse para la comunicación con elementos de control externos) y seriales haciendo las llamadas apropiadas dependiendo del tipo de instrumento que se va a utilizar.

Una de sus ventajas es que utiliza las mismas operaciones para la comunicación con los instrumentos sin importar el tipo de interfaz. Es decir, si se quiere escribir una cadena de caracteres en ASCII, VISA lo hace de la misma forma que si se trata de instrumentos seriales, GPIB o VXI. Así, VISA provee una interfaz independiente.

### 4.4.1. Programación de NI-VISA

VISA es un lenguaje orientado a objetos, por tanto, los objetos más importantes en el lenguaje VISA son conocidos como recursos.

En la terminología de la programación orientada a objetos, las funciones que pueden ser usadas con objetos se les conoce como operaciones. Igualmente los objetos tienen variables asociadas a él que contienen información del objeto mismo. En el lenguaje VISA estas variables son conocidas como atributos.

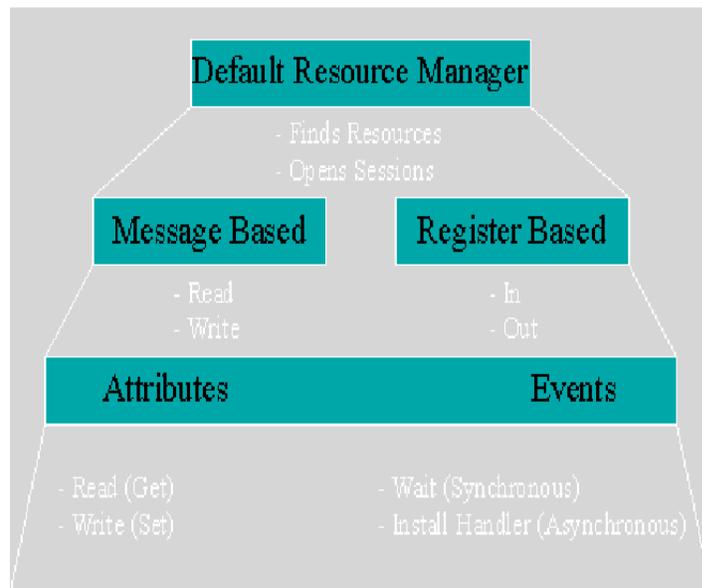


Figura 4.9: Estructura Interna NI-VISA

Como se puede observar lo que tiene mayor jerarquía en el lenguaje VISA es el administrador de recursos (Default Resource Manager) ya que es el que se encarga de encontrar recursos y abrir sesiones.

Las operaciones más comunes para la comunicación de instrumentos basados en cadenas de caracteres son las de lectura y escritura.

El VI *VISA Find Resources* es el encargado de llevar a cabo la función de buscar los recursos disponibles en el sistema, además de ser el punto de partida de cualquier programa que utilice VISA (Figura 4.10). Es decir, se utiliza para determinar si todos los recursos necesarios para que una aplicación funcione correctamente están disponibles en el sistema.



Figura 4.10: VISA Find Resources

La única entrada necesaria para que funcione el VI es la entrada llamada *expression*. Esta determina el tipo de recurso que el VI va a regresar. Los resultados obtenidos se muestran en *find list*.

La otra función del administrador de recursos, consiste en abrir la sesión necesaria para que la comunicación se pueda llevar a cabo. Esto se realiza mediante el VI OPEN (ver Figura 4.11).

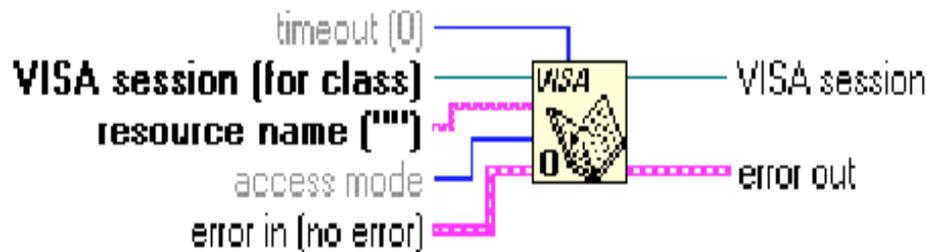


Figura 4.11: VISA Open

Los parámetros más importantes para el VI VISA OPEN son:

- *VISA Open timeout*: Especifica el periodo máximo en milisegundos que el VISA OPEN espera antes de mostrar un error.
- *VISA resource name*: Indica el nombre del recurso que se va a emplear.
- *error in*: Describe los errores que ocurren antes de que corra el VI.

Una sesión abierta por VISA utiliza recursos del sistema. Así para finalizar correctamente una sesión hecha por VISA es necesario cerrar todos los recursos utilizados. Para ello existe el Instrumento Virtual VISA CLOSE (Figura 4.12).

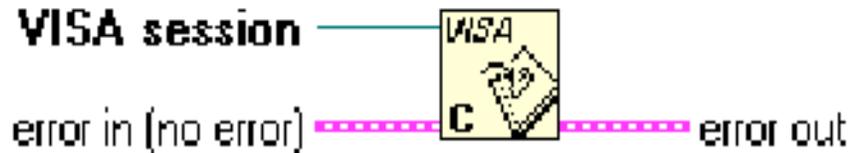


Figura 4.12: VISA Close

En este VI los parámetros importantes son:

- *VISA resource name*: Indica el nombre del recurso que se quiere cerrar.
- *error in*: Describe los errores que ocurren antes de que corra el VI.

Para el desarrollo del protocolo además de utilizar los dos instrumentos virtuales mencionados anteriormente, fue necesario utilizar tres instrumentos virtuales (VIs) de VISA para la escritura, lectura y configuración del puerto serial (ver Figura 4.13). Tales VIs son:

**VISA WRITE:** Escribe un dato en el dispositivo o interfaz especificada.



Figura 4.13: VISA Write

- **VISA resource name**: Indica el nombre del recurso donde se va a escribir el dato.
- **write buffer**: Contiene el dato que se va a escribir en el dispositivo o interfaz.
- **error in**: Describe los errores que ocurren antes de que corra el VI.

**VISA READ:** Lee el dato del dispositivo o interfaz especificada (Figura 4.14).

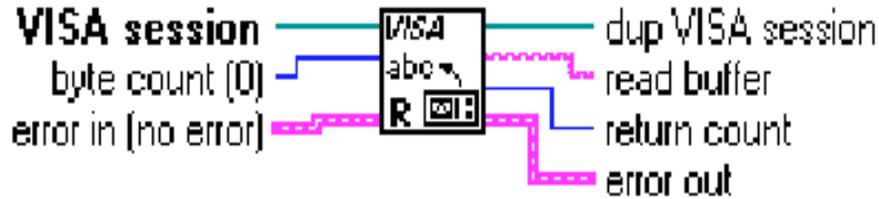


Figura 4.14: VISA Read

- **VISA resource name:** Indica el nombre del recurso de donde se va a leer el dato.
- *read buffer:* Contiene el dato que fue leído del dispositivo o interfaz.
- *error in:* Describe los errores que ocurren antes de que corra el VI.

**VISA CONFIGURE SERIAL PORT:** Inicializa el puerto serial especificando los parámetros necesarios (Figura 4.15).

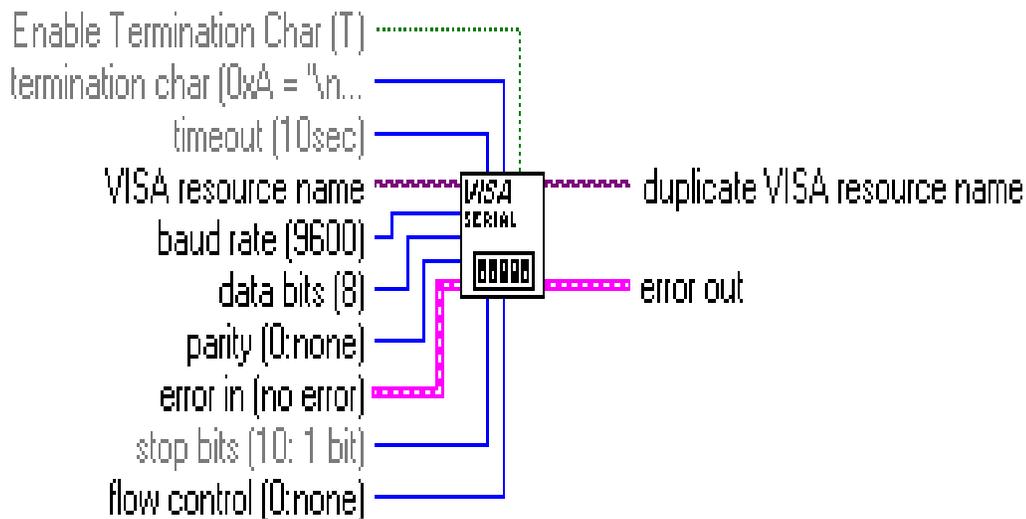


Figura 4.15: VISA Configure Serial Port

- *VISA resource name:* Especifica el puerto serial a configurar.
- *baud rate:* Indica la tasa de transmisión.
- *data bits:* Número de bits del dato entrante. Está entre 5 y 8.
- *parity:* Indica la paridad.
- *stop bits:* Número de bits de parada para indicar el fin de la trama.
- *error in:* Describe los errores que ocurren antes de que corra el VI.

# Capítulo 5

## Pruebas del Sistema Calefactor

En este Capítulo se explican los diferentes escenarios (normal y anormal) que muestran el comportamiento del sistema de calefacción.

### 5.1. Instrumentación Virtual

Hay dos tipos de escenarios, normal y anormal, el normal se divide en dos; el primer y segundo escenario, los cuales se explican a continuación.

#### 5.1.1. Escenario Normal

Cuando se habla de escenario normal se dice que no hay ningún problema para que el calefactor realice las funciones de encendido y apagado, es decir, que durante ese proceso no existe ninguna falla.

##### *a)* Primer escenario

##### 1) Inicialización

El primer paso es correr el programa. Después se configura la hora a la que debe comenzar el ciclo de encendido del calefactor (hora inicio), el segundo paso es configurar la hora en la que debe apagarse el calefactor (hora final), y por último la temperatura mínima y máxima que indican a partir de que temperatura debe comenzar a trabajar y debe finalizar dicho calefactor, respectivamente. (ver Figura 6.1)

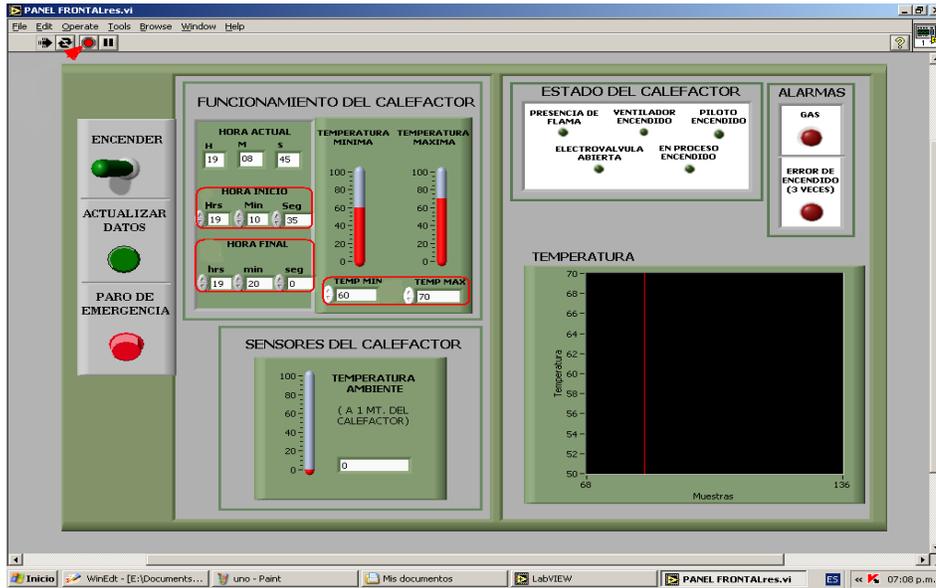


Figura 5.1: Inicialización

## 2) Encendido

El cuarto paso es activar el botón de encender (ver Figura 6.2), una vez activado, este se encarga de enviar los datos (hora inicio, hora final, y temperaturas) al microcontrolador para que comience el ciclo de encendido.

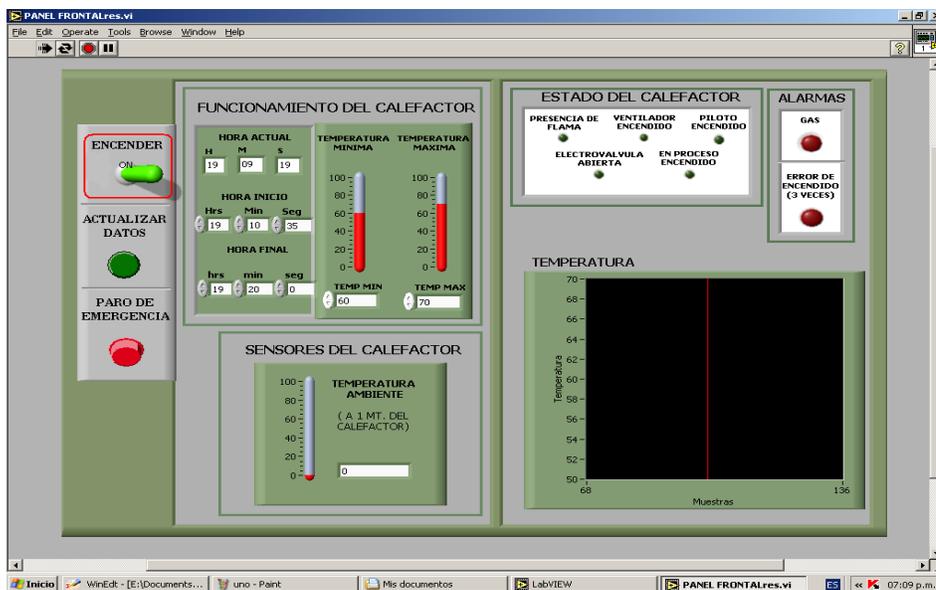


Figura 5.2: Encendido

### 3) Ciclo de encendido

Una vez que se cumple el tiempo de inicio, el ciclo de encendido del calefactor comienza, por lo tanto se reciben los siguientes datos: un indicador que muestra que el encendido está en proceso (en proceso encendido), otro que indica que la electroválvula está abierta (electroválvula abierta) y por último que el piloto está encendido (piloto encendido) (ver Figura 6.3). Esto se realiza tres veces en caso de ser necesario, pues en el momento que hay flama el ciclo termina.

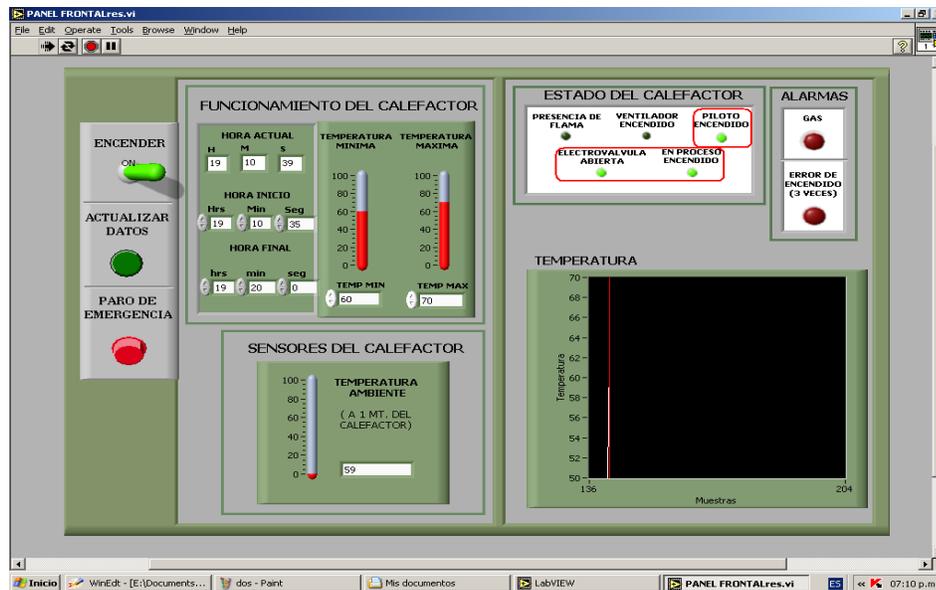


Figura 5.3: Ciclo de Encendido

### 4) Funcionamiento normal

Ya que ha encendido la flama, el ventilador se enciende (éste sirve para que el calor sea distribuido en el invernadero) y la electroválvula permanece abierta (para que el gas siga pasando y la flama no se apague). Por tanto hay tres indicadores (ver Figura 6.4): uno que muestra que hay flama (presencia de flama), otro que muestra que el ventilador ha encendido (ventilador encendido) y uno que indica que la electroválvula sigue abierta (electroválvula abierta).

Lo único que resta es esperar a que el tiempo transcurra y el lapso llegue a su fin.

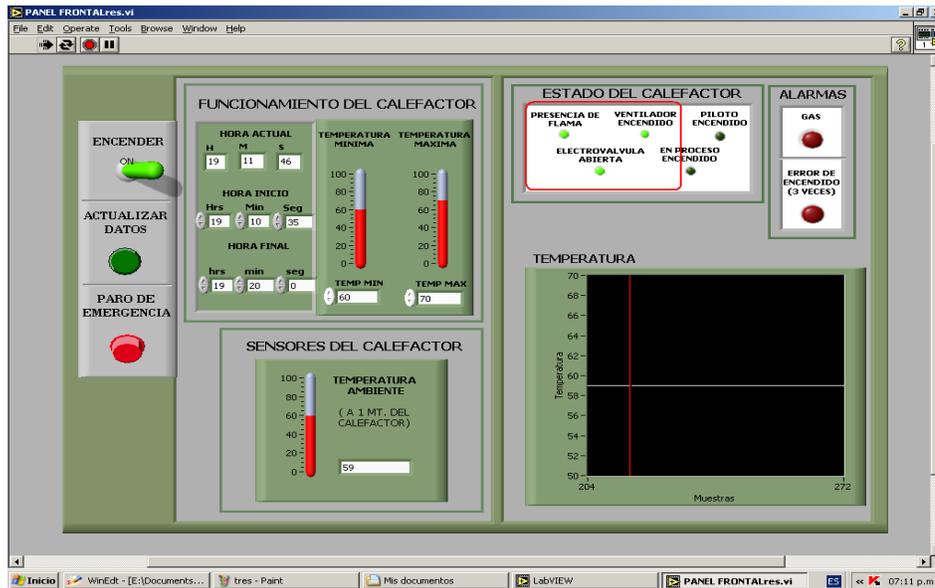


Figura 5.4: Funcionamiento Normal

## 5) Apagado por termino de tiempo

Una vez que el tiempo final se cumple, se envía paro de emergencia (ver Figura 6.5) al microcontrolador para que apague el sistema de calefacción.

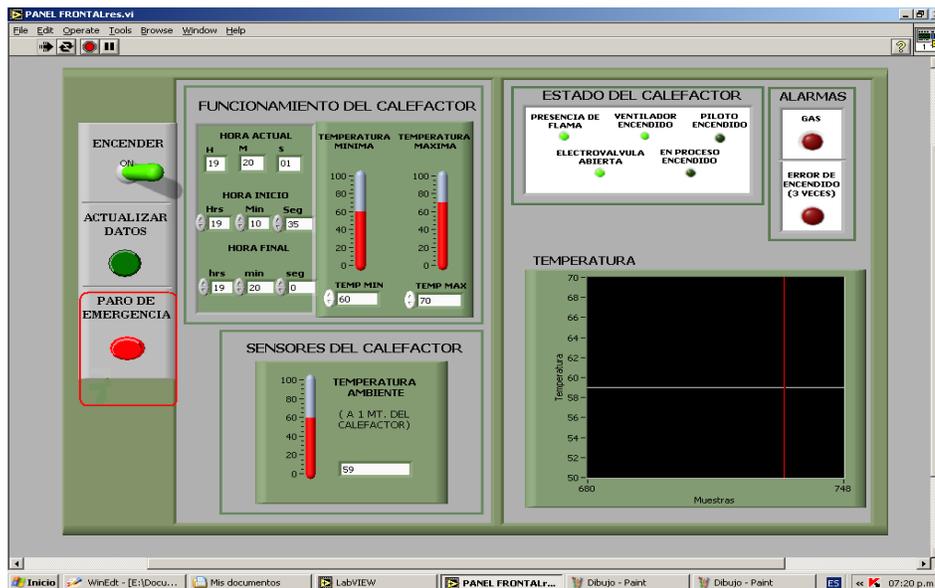


Figura 5.5: Apagado por Término de Tiempo

Aunque el calefactor ha sido apagado, la comunicación con el PIC

continua, pues es indispensable monitorear la temperatura ambiente a un metro del calefactor.

### b) Segundo escenario

Este escenario es igual al primero hasta el inciso *d*, pero el motivo por el cual el calefactor debe apagarse es porque el nivel de temperatura ha sido rebasado.

#### 1) Superación del nivel de temperatura

Como se explicó con anterioridad hay un rango de temperatura que rige el funcionamiento del calefactor. En este caso, aunque halla un tiempo para que el sistema de calefacción éste encendido, si el nivel de temperatura máxima es rebasado (ver Figura 6.7), el calefactor debe apagarse.

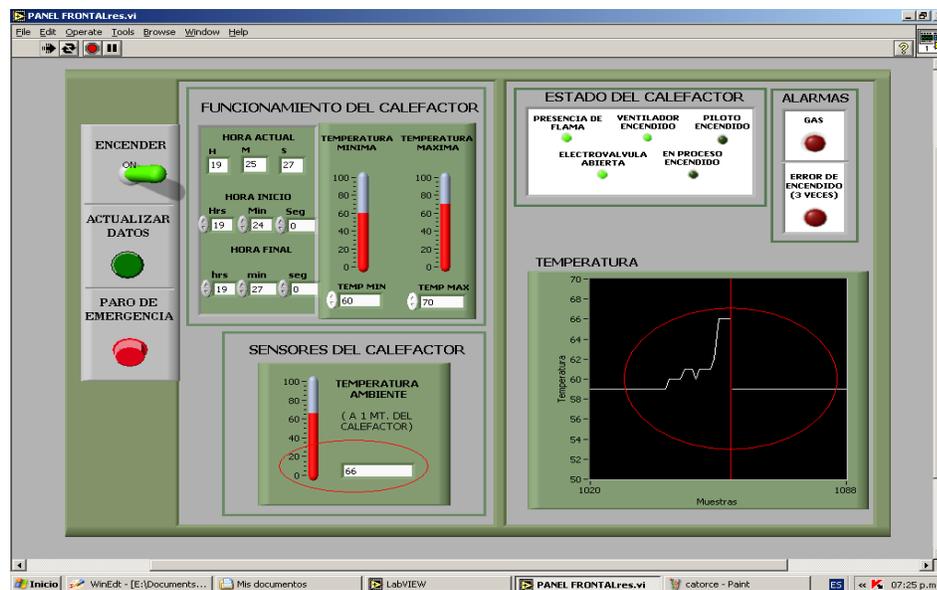


Figura 5.6: Aumento de Temperatura

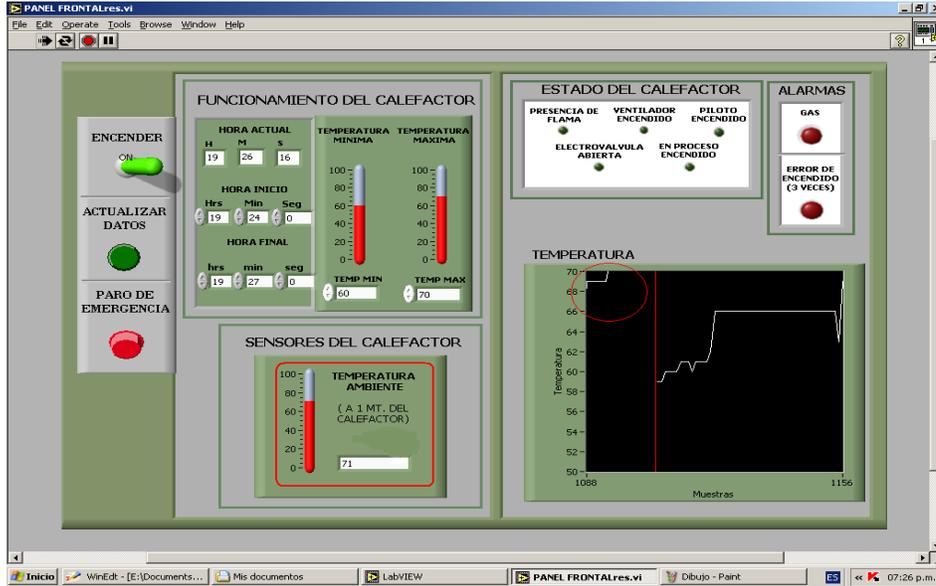


Figura 5.7: Superación del Nivel de Temperatura

### 5.1.2. Escenario Anormal

Cuando se habla de escenario anormal se dice que hay alguna falla que no permite que el sistema de calefacción pueda encender, o si está encendido ocasiona que entre en error de encendido.

1) Inicialización, encendido y ciclo de encendido es igual que los dos casos de escenario normal.

2) **Ausencia de flama**

Una vez que el ciclo de encendido ha comenzado, la flama debe presentarse para que termine el ciclo de encendido y el sistema de calefacción encienda, sin embargo hay algunas causas que pueden ocasionar que la flama no encienda (ver Figura 6.8) como son las siguientes: falta de gas, mal funcionamiento de la electroválvula o simplemente la chispa no esta presente. Esto provocaría al término del ciclo un error de encendido.

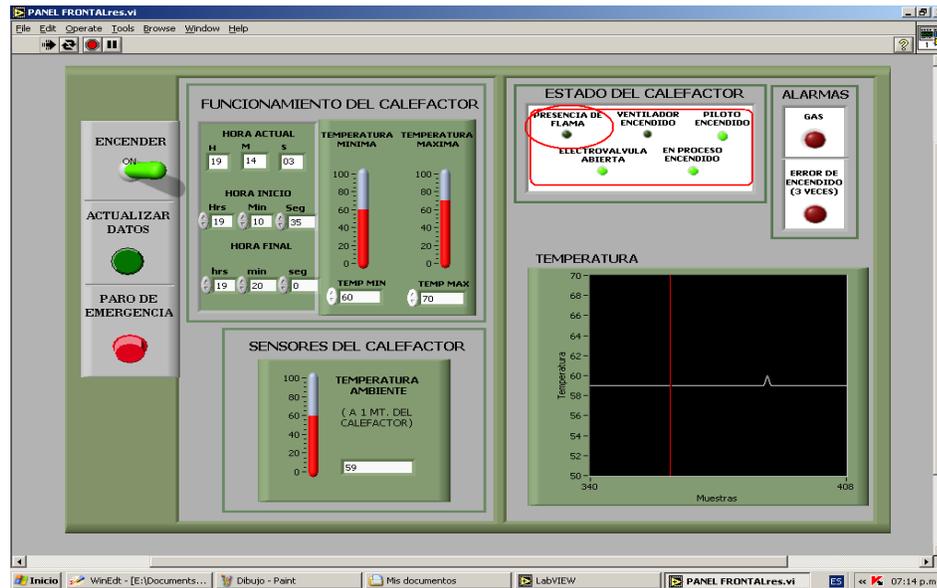


Figura 5.8: Ausencia de Flama

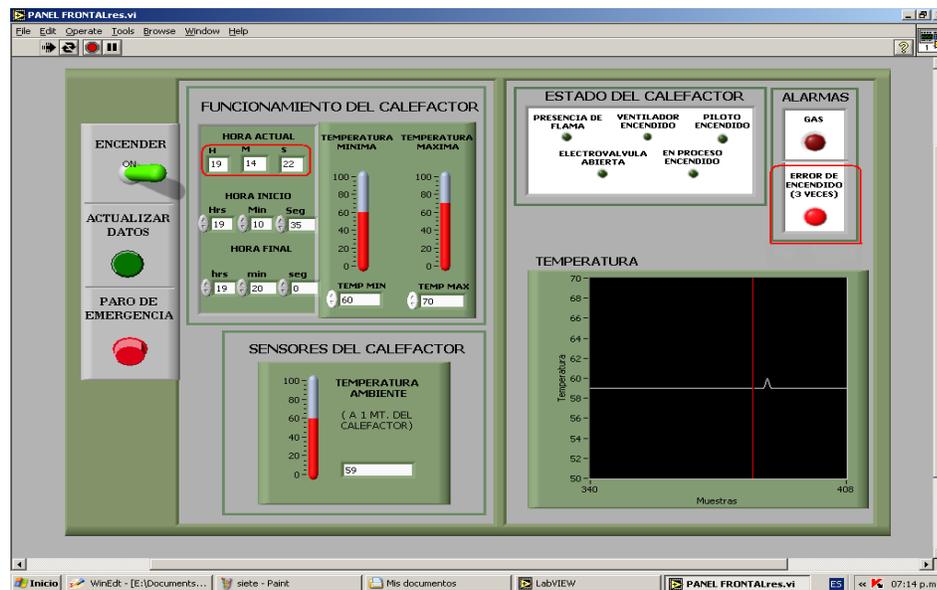


Figura 5.9: Error de Encendido

### 3) Repetición del ciclo al minuto

El error de encendido dura un minuto, al término de ese tiempo el ciclo comienza de nuevo, si no obtiene respuesta se activa el error de encendido otra vez, espera un minuto y lo intenta otra vez.

Cabe mencionar que el error de encendido puede presentarse al intentar encender el calefactor o en el transcurso de encendido, pues las fallas mencionadas en el punto anterior pueden presentarse en cualquier momento.

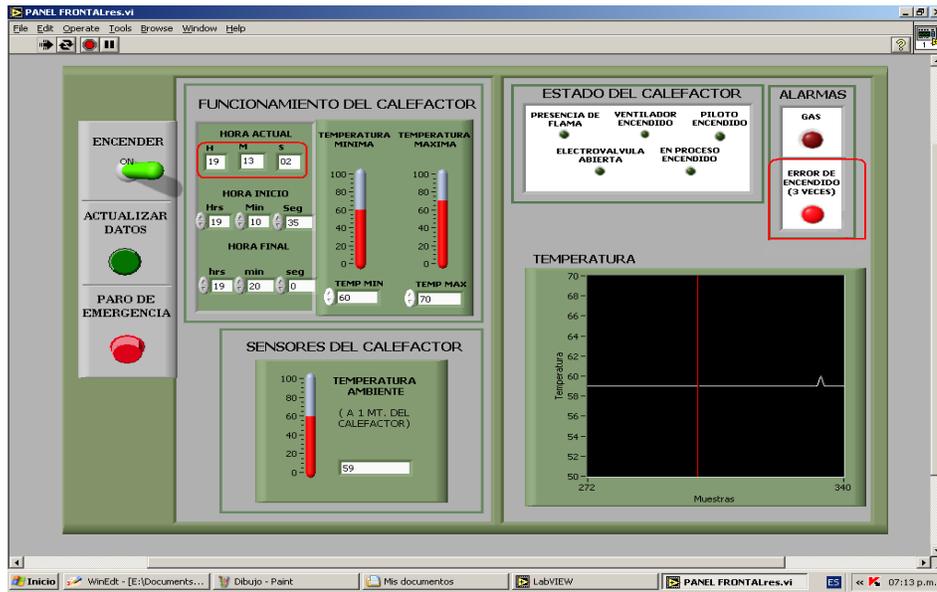


Figura 5.10: Error de Encendido

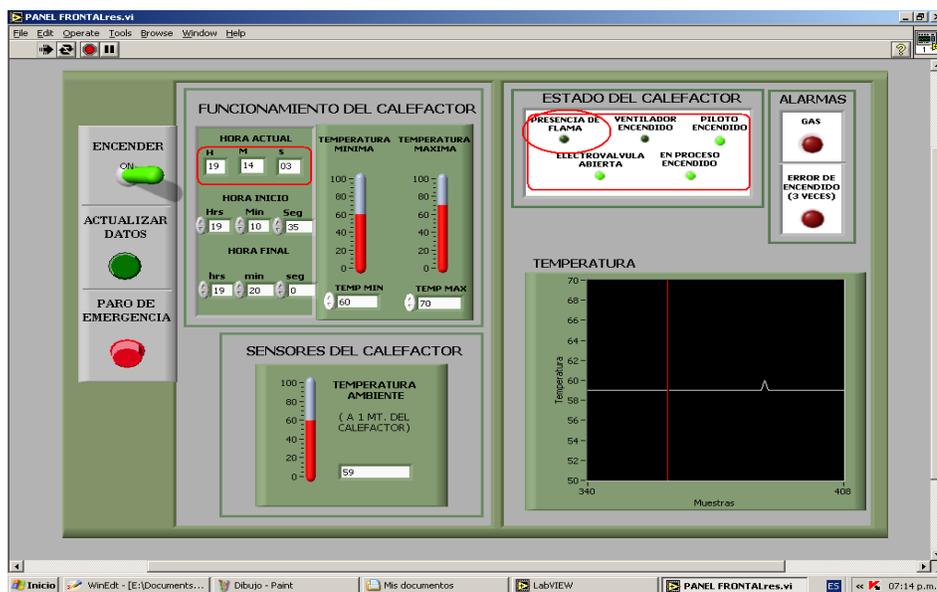


Figura 5.11: Repetición del Ciclo al Minuto

# Capítulo 6

## Instrumentación, Codificación y Pruebas del Sistema

En este Capítulo se explica el programa ejecutado por el PIC por medio del cual se realiza el control del sistema de encendido del calefactor. En la Sección 5.2 se explica el diagrama de bloques programado en LabVIEW, el cual permite monitorear las diferentes variables involucradas en el sistema de calefacción. Finalmente en la Sección 5.3 se abordan los diferentes escenarios (normal y anormal) que muestran el comportamiento del sistema de calefacción.

### 6.1. Programa en C

En la Figura 6.1 se muestra la primera parte del programa que ejecuta el microcontrolador, consiste básicamente en incluir las librerías y declarar las funciones y variables involucradas a lo largo del programa.

```

#include <pic.h>
#include "delay.c"
#include "sci.c"

static bit flama @ (unsigned)&PORTC*8+0;
static bit chispa @ (unsigned)&PORTC*8+1;
static bit valv @ (unsigned)&PORTC*8+2;
static bit vent @ (unsigned)&PORTC*8+3;
static bit erren @ (unsigned)&PORTC*8+4;
static bit paroemer @ (unsigned)&PORTC*8+5;
volatile static bit flag,f,nuevo_dato,enproceso;

interrupt void peticion(void);
void delaysegundo();
void actualiza(void);
int x,intento;
volatile unsigned char error,estado,temperatura,control,reconociPIC;
volatile unsigned char paroemergencia,solicitud,encender,tempmin,tempmax,descompone;

```

Figura 6.1: Inicialización del Programa.

En la Figura 6.2 se muestra el código de programa correspondiente a la inicialización del PIC, es decir la configuración de los recursos a utilizar y los valores iniciales que toman algunas variables.

Comienza con la configuración de los puertos:

- Puerto A como salidas exepcto RA0 el cual se configura como entrada.
- Puerto C como salidas exepcto RC7 y RC1 que se configuran como entradas.
- Puerto E como salidas.

Configuración del convertidor Analógico-Digital:

- RA0 como entrada analógica (canal analógico AN0) para adquirir la señal proveniente del sensor de temperatura.
- El registro ADRESH guarda los 8 bits más significativos del resultado de la conversión.
- La velocidad de conversión es igual a la frecuencia de oscilador entre 8.
- Módulo del convertidor Analógico-Digital encendido (ADON=1).

Configuración del puerto serial:

- RC7 como entrada (para Recepción) y RC6 como salida (para Transmisión).
- Transmisión y Recepción asíncrona, con 8 bits de datos, velocidad de 9600 baudios.

Configuración de las interrupciones:

- Interrupción global habilitada.
- Interrupción por perifericos habilitada.
- Interrupción por recepción habilitada.

Configuración de las variables:

- Todas con valor inicial 0.

```

void main()
(
    TRISA = 0b000001;
    TRISC = 0x81;
    TRISE=0;
    ADCON1 = 0x0E;
    ADCON0 = 0x40;
    DelayMs(1);
    ADON = 1;

    flag=sci_Init(9600,SCI_EIGHT);
    PIR1 = 0;
    RCIE = 1;
    PEIE = 1;
    GIE = 1;
    RCIF = 0;
    RC0=0;
    RC1=0;
    RC2=0;
    RC3=0;
    RC4=0;
    RC5=0;

    control=0;
    tempmin=0;
    tempmax=0;
    reconociPIC=0;
    paroemergencia=0;
    solicitud=0;
    encender=0;

```

Figura 6.2: Inicialización del PIC.

En las Figuras 6.3 y 6.4 se muestran los códigos de programa correspondientes a la adquisición de datos y al control de la temperatura dentro del rango recibido.

El PIC inicialmente está actualizando el estado de las variables realizando la conversión Analógico-Digital y monitoreando el puerto C, además está listo para recibir en cualquier momento información proveniente de la PC compuesta por 3 bytes de datos. Una vez recibida la información (por medio de la ejecución de una interrupción) se procede a ejecutar dichas instrucciones.

- Si la señal recibida es un paro de emergencia se detienen todos los actuadores.
- Si la señal recibida es una solicitud de datos se actualizan los valores de la variables y se envían.
- Si la señal recibida es la de encender el calefactor realiza una comparación de las temperaturas de referencia con la temperatura actual, si la temperatura actual está dentro o por encima del rango, no se realiza ninguna acción, solo cuando la temperatura está por debajo

del límite inferior es cuando comienza el ciclo de encendido el cual tiene como máximo 3 oportunidades para encender; si no enciende en ese lapso, será enviado error de encendido a la PC y se efectúa un ciclo de espera de aproximadamente un minuto antes de intentar encender de nuevo, si enciende se mantendrá en ese estado hasta llegar al límite superior donde se detienen todos los actuadores.

```

for(;;)
{
  actualiza();
  if(nuevo_dato)
  {
    nuevo_dato=0;
    descompone=control;
    reconociPIC = (0xC0 & descompone);
    paroemergencia = (0x20 & descompone);
    solicitud = (0x02 & descompone);
    encender = (0x01 & descompone);
  }

  if (reconociPIC==0xC0)
  {

    if (paroemergencia==0x20)
    {
      RC0=0;
      RC1=0;
      RC2=0;
      RC3=0;
      RC4=0;
      RC5=1;
      delaysegundo();
    }
    else
    {
      RCS=0;
      if (solicitud==0x02)
      {
        delaysegundo();
      }

      if (encender==0x01)
      {

        if (temperatura>=tempmax)
        {
          RC1=0;
          RC2=0;
          RC3=0;
          delaysegundo();
        }

        if ((temperatura>tempmin) && (temperatura<tempmax))
        {
          RC1=0;
          RC2=0;
          RC3=0;
          delaysegundo();
        }
      }
    }
  }
}

```

Figura 6.3: Código de Control.

```

if (temperatura<=tempmin)
{
    intento=0;
    do{
        enproceso=1;
        RC2=1;
        RC1=1;
        delaysegundo();
        delaysegundo();
        RC2=0;
        delaysegundo();
        intento=intento+1;
        actualiza();
        sci_PutByte(temperatura);
        sci_PutByte(estado);
        f=flama;
    }while( intento<3 && flama==0);

f=flama;
if(f==1)
{
    enproceso=0;
    do
    {
        RC4=0;
        RC1=0;
        RC2=1;
        RC3=1;
        delaysegundo();
        f=flama;
    }while( (f==1) && (temperatura<=tempmax) && (encender==0x01) && (paroemergencia==0x00));

    RC1=0;
    RC2=0;
    RC3=0;
    actualiza();
    sci_PutByte(temperatura);
    sci_PutByte(estado);
}

else{
    enproceso=0;
    erren=1;
    RC4=1;
    RC1=0;
    RC2=0;
    RC3=0;
    RC5=0;
    actualiza();
    sci_PutByte(temperatura);
    sci_PutByte(estado);
    for (x=1;x<=60;++x)
    {
        delaysegundo();
    }
    RC4=0;
    erren=0;
}
}
}
}
} //FIN FOR INFINITO
} // FIN MAIN

```

Figura 6.4: Código de Control.

En la Figura 6.5 se muestra la rutina de interrupción por recepción.  
En caso de existir algún error en la recepción será mostrado por el puerto

E, los datos recibidos son almacenados en su variable asociada.

```

interrupt void peticion(void)
{
    if(RCIF)
    {
        RCIE=0;
        REO=OERR;
        RE1=FERR;
        if(REO)
        {
            CREN = 0;
            CREN = 1;
        }
        if(FERR)
        {
            error=RCREG;
            error=RCREG;
        }
        control = sci_GetByte();
        tempmin = sci_GetByte();
        tempmax = sci_GetByte();
        descompone=control;
        reconociPIC = (0xC0 & descompone);
        paroemergencia = (0x20 & descompone);
        solicitud = (0x02 & descompone);
        encender = (0x01 & descompone);
        nuevo_dato=1;

        RCIF = 0;
        RCIE=1;
    }
}

```

Figura 6.5: Rutina de Interrupción.

En la Figura 6.6 se muestra la rutina de retraso de tiempo. En esta rutina además del retraso de aproximadamente un segundo se realiza la transmisión de datos hacia la PC.

```

void delaysegundo()
{
    DelayMs(250);
    actualiza();
    sci_PutByte(temperatura);
    sci_PutByte(estados);
    DelayMs(250);
    DelayMs(250);
    DelayMs(250);
}

```

Figura 6.6: Rutina de Retraso de Tiempo

En la Figura 6.7 se muestra la rutina de actualización de datos. Consiste en realizar la conversión Analógico-Digital y monitorear el puerto C.

```
void actualiza(void)
{
    ADGO = 1;
    while (ADGO)
    {continue;}
    temperatura = ADRESH;

    estado=0;
    if (flama)
    {
        estado=1;
    }else
    {
        estado=0;
    }
    if (chispa)
    {
        estado=estado+2;
    }
    if (valv)
    {
        estado=estado+4;
    }
    if (vent)
    {
        estado=estado+8;
    }
    if (erren)
    {
        estado=estado+16;
    }
    if (enproceso)
    {
        estado=estado+32;
    }
} //fin de actualiza
```

Figura 6.7: Rutina de Actualización de Datos

## 6.2. Instrumentación Virtual

En la Figura 6.8 se muestra el programa que ejecuta LabVIEW para llevar a cabo el monitoreo del sistema de calefacción. Más adelante se explicará a detalle.

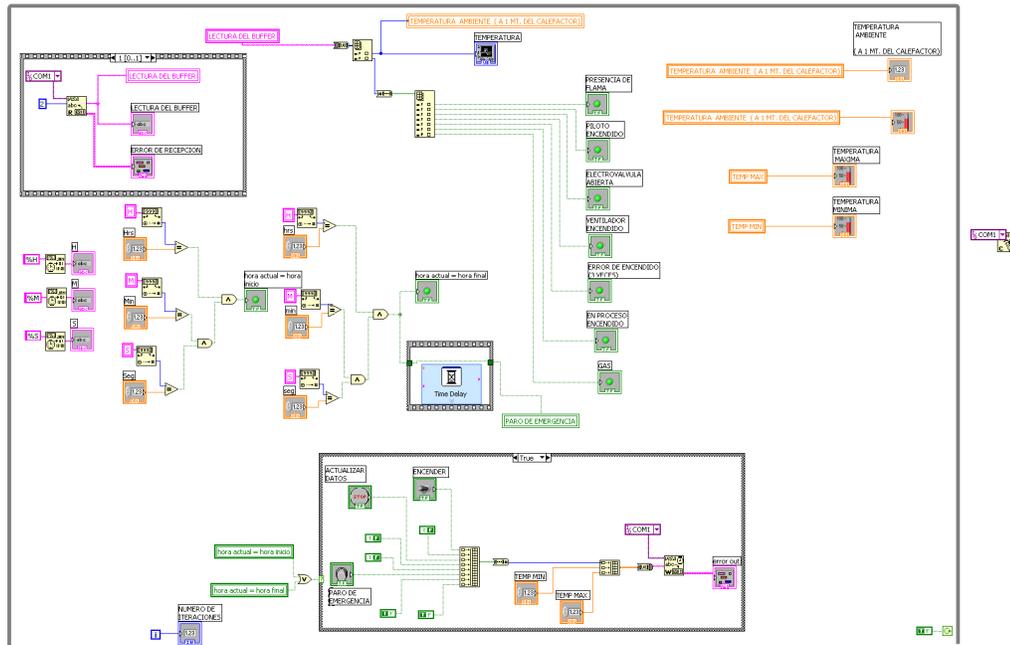


Figura 6.8: Diagrama de Bloques

- Lo primero que se hizo fue configurar el puerto serial por medio del bloque VISA Configure Serial Port. La configuración es la siguiente: el puerto es el COM1, con una velocidad de transmisión de 9600 Baudios, 8 bits de datos, sin paridad, un bit de parada, sin control de flujo y un indicador que muestra si hay error en la transmisión, (Fig 6.9)

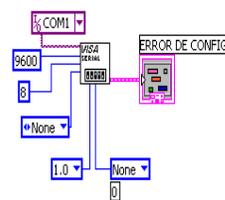


Figura 6.9: Configuración del Puerto Serial

- Para poder recibir datos se debe configurar el VISA Read, los datos se reciben a través del COM1, hay que indicar cuantos bytes se van a recibir, en este caso son 2, también se alambra un indicador (ERROR DE RECEPCIÓN) que muestra si hay error en la recepción, (Fig. 6.10).

Los 2 bytes que recibe LabVIEW son mostrados en un indicador (LECTURA DEL BUFFER) y guardados en la variable local (LECTURA DEL BUFFER) para realizar otras operaciones de manera más sencilla.

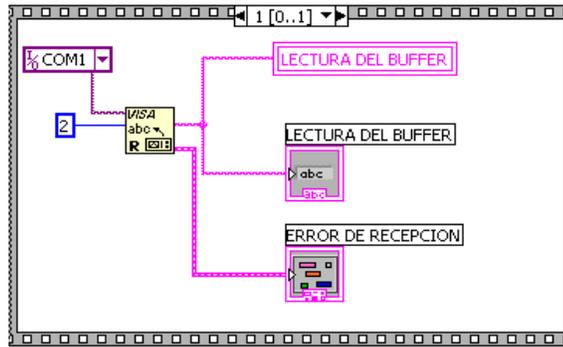


Figura 6.10: Recepción de Datos

- En la Figura 6.11 podemos observar como se dividen los 2 bytes recibidos, los cuales son tomados de la variable local (LECTURA DEL BUFFER).

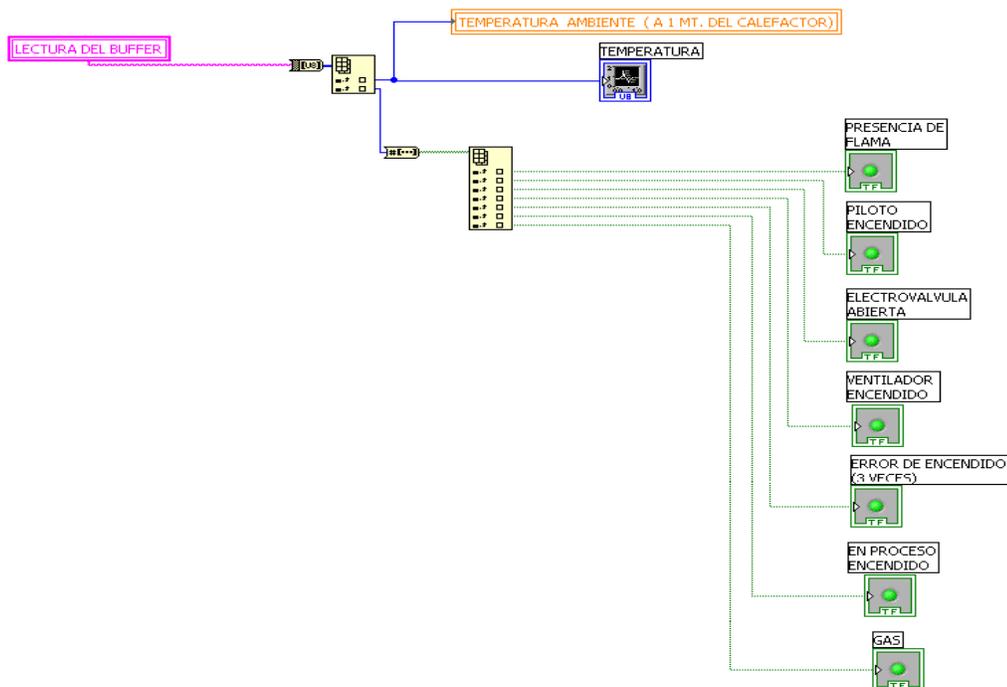


Figura 6.11: Información Recibida

El primer dato recibido es la temperatura que hay dentro del invernadero, la cual es medida a un metro de distancia del calefactor. En LabVIEW es guardada en una variable local (TEMPERATURA AMBIENTE (A 1 MT. DEL CALEFACTOR)) y su comportamiento se muestra en la gráfica (TEMPERATURA).

El segundo byte contiene diversa información, por eso fue necesario separarlo en 8 bits, de los cuales 7 contienen la información requerida.

- Bit menos significativo corresponde a PRESENCIA DE FLAMA.
  
- PILOTO ENCENDIDO.
  
- ELECTROVÁLVULA ABIERTA.
  
- VENTILADOR ENCENDIDO.
  
- ERROR DE ENCENDIDO (3 VECES).
  
- EN PROCESO ENCENDIDO.
  
- Bit más significativo corresponde a GAS.

Cada uno tiene su propio indicador en el panel frontal.

- Los datos se pueden guardar en variables locales para que sea más fácil realizar diferentes operaciones, en la Figura 6.12 se observan tres variables locales (TEMPERATURA AMBIENTE A 1 MT. DEL CALEFACTOR, TEMP MAX Y TEMP MIN). La primera es mostrada en un indicador numérico y en un indicador con forma de termómetro, la segunda y la tercera son mostradas también en un indicador con forma de termómetro.
-

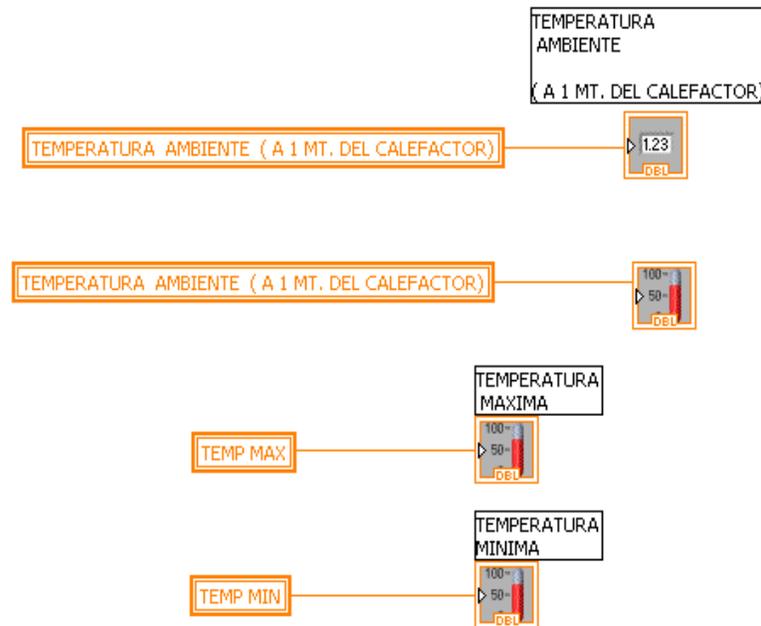


Figura 6.12: Forma de Mostrar los Datos

- La Figura 6.13 esta dividida en tres bloques:
  - Rojo (hora actual): se obtiene del sistema de la PC, solo hay que configurar correctamente los bloques format date/date string (horas (H), minutos (M) y segundos (S)), los cuales son mostrados en el panel frontal a través de un indicador numérico.
  - Azul (hora actual=hora inicio): es la comparación entre el tiempo del sistema de la PC (hora actual) con el tiempo de inicio (hora inicio). El tiempo de inicio es determinado por el usuario en el panel frontal por medio de los controles numéricos (Hrs, Min, Seg). Cuando ambos son iguales el calefactor debe encender.
  - Verde (hora actual=hora final): es la comparación entre el tiempo del sistema de la PC (hora actual) con el tiempo final (hora final). El tiempo final es determinado por el usuario en el panel frontal por medio de los controles numéricos (hrs, min, seg). Cuando ambos son iguales el calefactor debe apagarse (PARO DE EMERGENCIA).

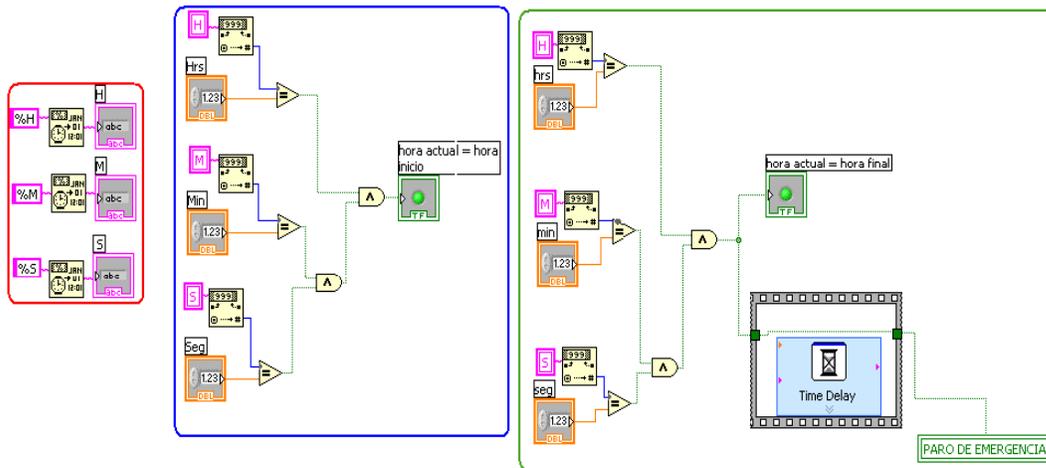


Figura 6.13: Comparación de Tiempo

- Para enviar la información al microcontrolador se configuró el VISA Write, donde el puerto a utilizar es el COM1, los datos van codificados en tres bytes.
  - El primer byte contiene tres instrucciones importantes: prender el calefactor (ENCENDER), ACTUALIZAR DATOS, y apagar el calefactor (PARO DE EMERGENCIA).
  - El segundo es la temperatura mínima (TEMP MIN), bajando de este nivel el PIC debe encender el calefactor, no importando el tiempo de inicio.
  - El tercero es la temperatura máxima (TEMP MAX), si es rebasado este nivel el microcontrolador debe apagar el calefactor, no importando el tiempo final.

Una vez que la comparación  $\text{hora actual} = \text{hora inicio}$  es verdadera, se activa el caso de la Figura 6.14 y envía el dato ENCENDER (este botón se encuentra en el panel frontal, donde es activado de forma manual por el usuario antes de que la comparación se lleve a cabo). Una vez que la comparación  $\text{hora actual} = \text{hora final}$  es verdadera, se envía el dato PARO DE EMERGENCIA (este botón se encuentra en el panel frontal donde es activado por dicha comparación).

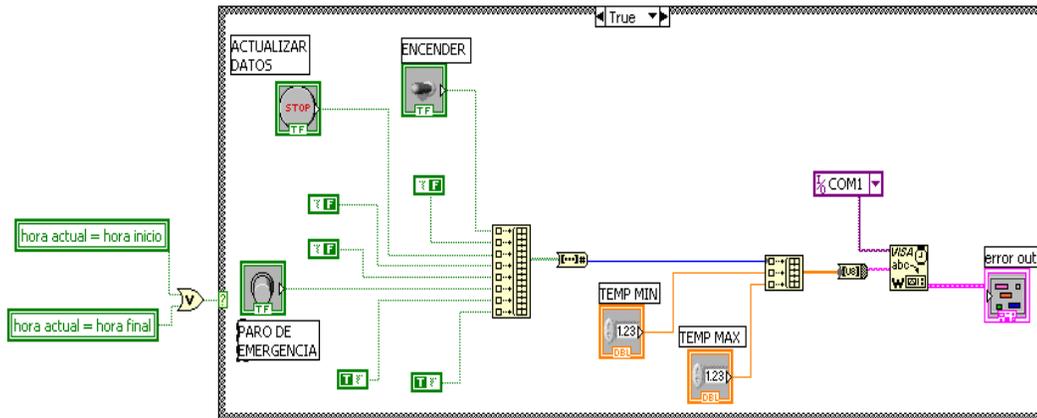


Figura 6.14: Envío de Datos

- Una sesión abierta por VISA utiliza recursos del sistema. Así, para finalizar correctamente una sesión, es necesario cerrar todos los recursos utilizados mediante el VISA close.



Figura 6.15: Cerrar Sesión

## 6.3. Pruebas del Sistema Calefactor

Para distinguir los diferentes modos con que opera el sistema, se incluyeron dos tipos de escenarios, normal y anormal. El modo de operación normal se divide en dos, los cuales se explicarán a continuación:

### 6.3.1. Escenario Normal

Cuando se habla de escenario normal se dice que no hay ningún problema para que el calefactor realice las funciones de encendido y apagado, es decir, que durante ese proceso no existe ninguna falla.

#### 1) Primer escenario

Este primer escenario consta de 5 etapas, las cuales se detallan a continuación:

##### a' Etapa de inicialización

- Correr el programa en LabVIEW

- Configurar la hora a la que debe comenzar el ciclo de encendido del calefactor (hora inicio).
- Configurar la hora en la que debe apagarse el calefactor (hora final).
- Configurar la temperatura mínima y la máxima las cuales indican a partir de que temperatura debe comenzar a trabajar y a que temperatura máxima debe apagarse el calefactor (ver Figura 6.16).

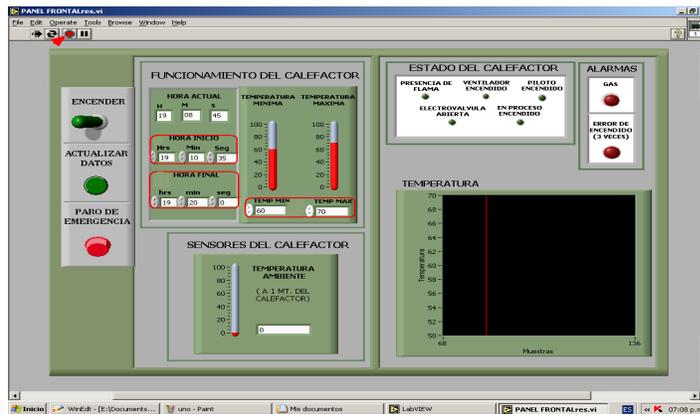


Figura 6.16: Inicialización

### b' Etapa de encendido

- Activar el botón de encender (ver Figura 6.2). Una vez activado, este se encarga de enviar los datos (hora inicio, hora final, y temperaturas) al microcontrolador para que comience el ciclo de encendido.

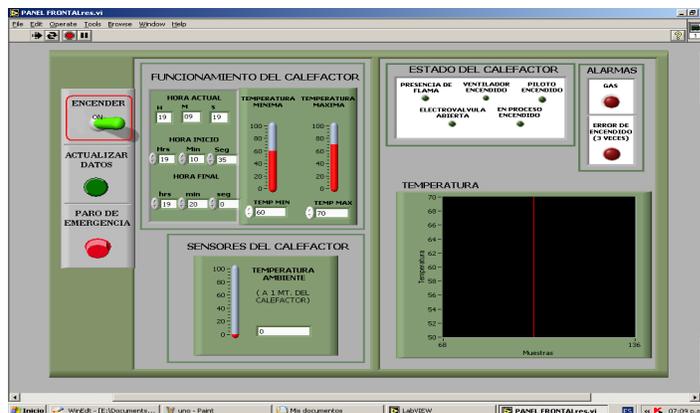


Figura 6.17: Encendido

### c' Etapa de ciclo de encendido

Una vez que se alcanza la hora inicio, el ciclo de encendido del calefactor se activa y por lo tanto se reciben los siguientes datos: un indicador que muestra que el encendido está en proceso (EN PROCESO ENCENDIDO), otro que indica que la electroválvula esta abierta (ELECTROVALVULA ABIERTA) y por último que el piloto esta encendido (PILOTO ENCENDIDO) (ver Figura 6.3). Lo anterior se realiza un máximo de tres ocasiones en caso de ser necesario, pues en el momento que hay flama el ciclo termina.

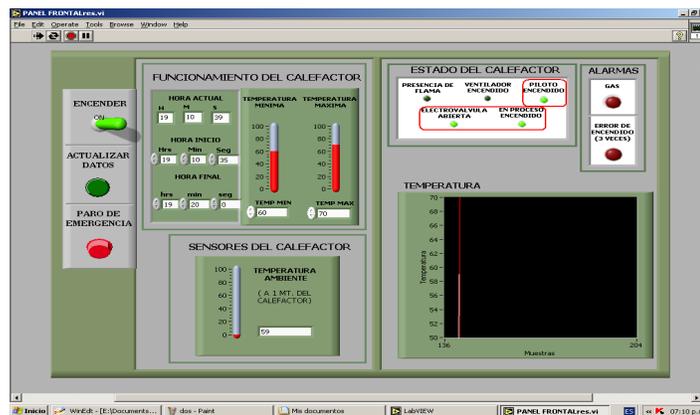


Figura 6.18: Ciclo de Encendido

### d' Etapa de funcionamiento normal

Ya que se ha encendido la flama, el ventilador pone en marcha (este sirve para que el calor sea distribuido en el invernadero) y la electroválvula permanece abierta (para que el gas siga pasando y la flama no se apague), por lo tanto hay tres indicadores (ver Figura 6.4): uno que muestra que hay flama (presencia de flama), otro que muestra que el ventilador ha encendido (ventilador encendido) y uno que indica que la electroválvula sigue abierta (electroválvula abierta).

Lo único que resta es esperar a que el tiempo marcado en HORA FINAL sea cumplido.

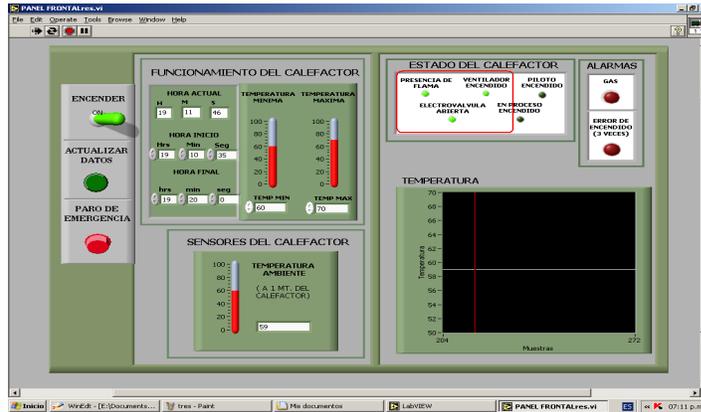


Figura 6.19: Funcionamiento Normal

### e' Etapa de apagado por término de tiempo

Una vez que el tiempo final se cumple, se envía un paro de emergencia (ver Figura 6.5) al microcontrolador para que apague el sistema de calefacción.

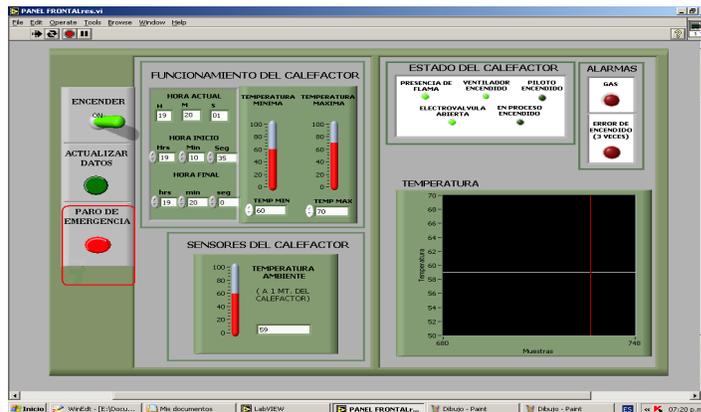


Figura 6.20: Apagado por Término de Tiempo

Aunque el calefactor ha sido apagado, la comunicación con el PIC continua, pues es indispensable monitorear la temperatura ambiente a un metro del calefactor.

## 2) Segundo escenario

Este escenario es igual al primero hasta el inciso *d*, pero en este nuevo escenario el motivo por el cual el calefactor deberá apagarse es porque el nivel máximo de temperatura (TEMPERATURA MAXIMA) ha sido rebasado.

### a' Superación del nivel de temperatura

Como se explicó con anterioridad, hay un rango de temperatura que rige el funcionamiento del calefactor. En este caso, aunque existe una ventana de tiempo para que el sistema de calefacción este encendido, si el nivel de temperatura máxima es rebasado (ver Figura 6.7), el calefactor debe de apagarse.

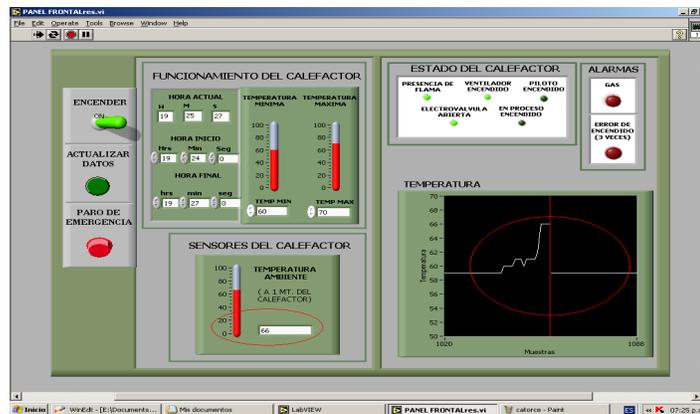


Figura 6.21: Aumento de Temperatura

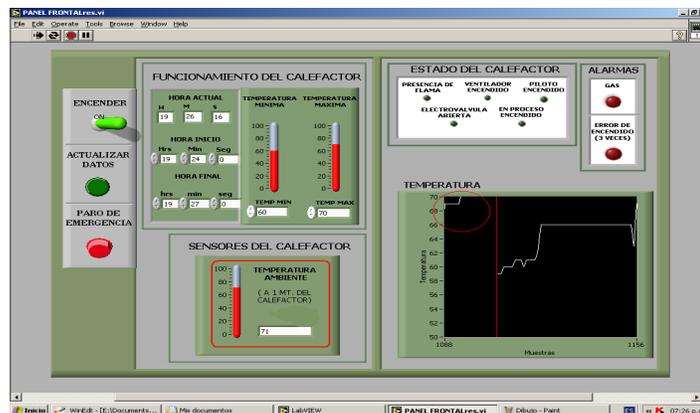


Figura 6.22: Superación del Nivel de Temperatura

### 6.3.2. Escenario Anormal

Cuando se habla de escenario anormal se dice que hay alguna falla que no permite que el sistema de calefacción pueda encender, o si está encendido ocasiona que esté en modo de error de encendido.

- 1) Inicialización, encendido y ciclo de encendido es igual que los dos casos de escenario normal.

## 2) Ausencia de flama

Una vez que el ciclo de encendido ha comenzado, la flama debe presentarse para que termine el ciclo de encendido y el sistema de calefacción funcione normalmente (encendido normal). Sin embargo hay algunas causas que pueden ocasionar que la flama no se establezca (ver Figura 6.8) como: falta de gas, mal funcionamiento de la electroválvula o simplemente la chispa no está presente. Esto provocaría al término del ciclo un error de encendido.

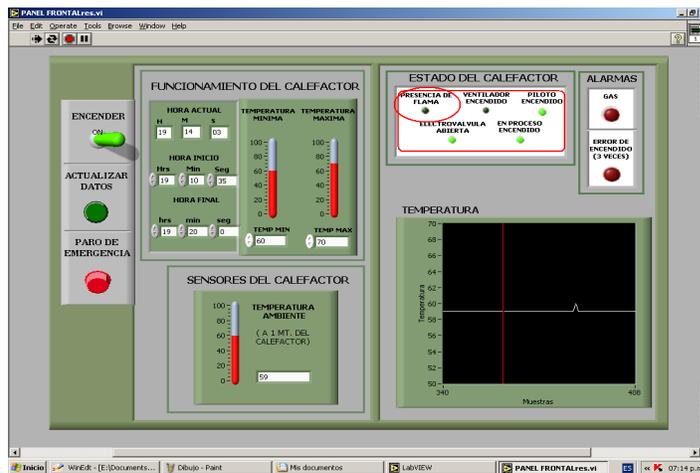


Figura 6.23: Ausencia de Flama

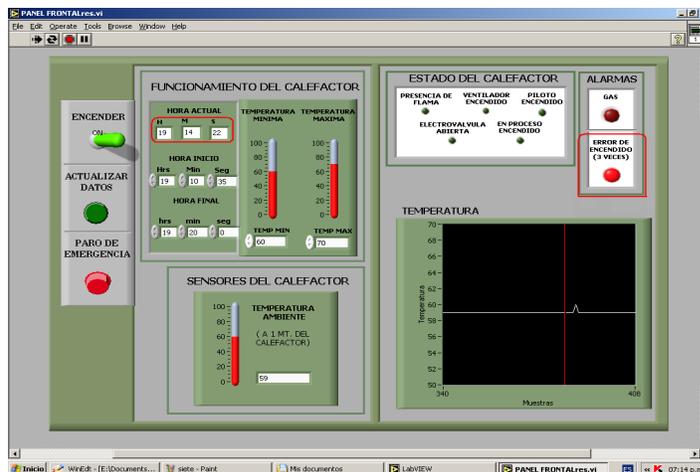


Figura 6.24: Error de Encendido

## 3) Repetición del ciclo al minuto

El error de encendido dura un minuto, al término de ese tiempo el ciclo comienza de nuevo, si no obtiene respuesta se activa el error de encendido otra vez, espera un minuto y lo intenta nuevamente. Cabe mencionar que el error de encendido puede presentarse al intentar encender el calefactor o en el transcurso de encendido, pues las fallas mencionadas en el punto anterior pueden presentarse en cualquier momento.

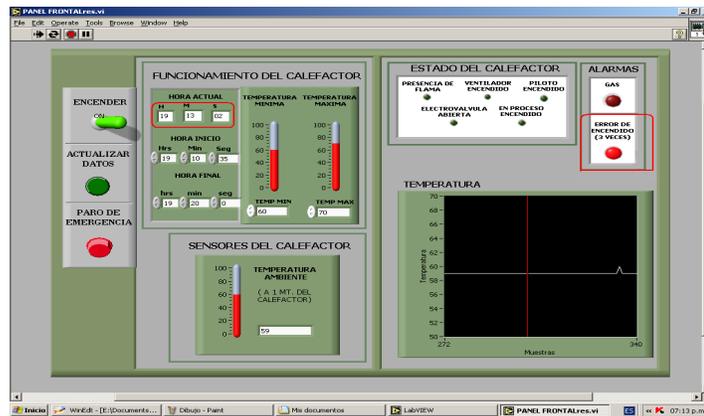


Figura 6.25: Error de Encendido

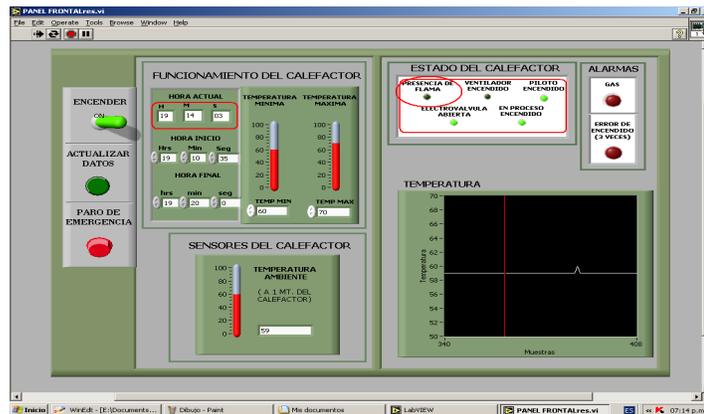


Figura 6.26: Repetición del Ciclo al Minuto

# Capítulo 7

## Conclusiones

A continuación se describen las metas alcanzadas en esta tesis.

- 1) Se diseñó un sistema que puede obtener: temperatura, presencia de flama, presencia de gas y controlar un arco eléctrico, la electroválvula y un ventilador para supervisar el funcionamiento de un calefactor.
- 2) Se diseñó un sistema de calefacción para regular la temperatura dentro de un invernadero, el cual se supervisa a través de una PC.
- 3) El sistema mínimo de control diseñado del calefactor, está basado en el PIC 16F877A, el cual es supervisado desde un punto central (PC), utilizando el protocolo serial RS232.
- 4) Finalmente, se diseñaron los instrumentos virtuales que automatizan el nivel de la temperatura, presencia de flama, presencia de gas, tiempo de encendido, horario de inicio y horario de final.

### 7.1. Cualidades y Virtudes del Sistema

- 1) Este sistema detecta mediante una de sus alarmas la presencia de flama lo cual permite que el gas no se desperdicie.
- 2) El tiempo de encendido del calefactor está intimamente relacionado con la temperatura mínima y máxima que se desea tener dentro del invernadero.
- 3) Cuenta con botón de paro de emergencia.

### 7.2. Características Físicas del Sistema

- 1) Uso de gas LP.
- 2) La alimentación de voltaje para la electroválvula es de 127V.

- 3) La alimentación de voltaje para el ventilador es de 12V.
- 4) La alimentación de voltaje para el circuito de control es de 5V para los integrados y de 12V para los relevadores.

### **7.3. Ventajas del Sistema**

Sin duda una de las ventajas del presente proyecto de tesis, es el costo, ya que los componentes son accesibles economicamente y son muy comerciales.

En cuanto al sistema, es muy fácil de usar e instalar. El sistema se ocupa completamente de mantener una temperatura mínima en el recinto en una ventana de tiempo, todo esto definido por el usuario.

El sistema cuenta con alarmas visuales para indicar el tipo de funcionamiento en que se encuentra el calefactor.

### **7.4. Limitaciones del Sistema**

Una de las limitaciones que tiene el sistema es que en lugares alejados donde no hay luz eléctrica, no se puede instalar.

La supervisión del sistema no es remota.

### **7.5. Trabajos a Futuro**

Los trabajos futuros que se pretenden realizar son:

- 1) Que la supervisión pueda efectuarse de forma remota.
  - 2) Buscar una fuente de alimentación alternativa al sistema, como la solar.
-

# Bibliografía

- [Gar03] Mike Garbutt. *Asynchronous Communications with the PICmicro USART*. Microchip Technology Inc No. AN774, 2003.
- [Inc02] Microchip Technology Inc. *Industrial Data Communications RS-232/RS485*. Microchip Technology Inc Tutorial No. 2, 2002.
- [Mic01] Microchip. *PIC16F87X 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers*. Microchip Technology Data Sheets No. DS30292C, 2001.
- [Mor07] Dr. Virgilio López Morales. Sistema de evaluación, control y supervisión de invernaderos hidropónicos. proyecto pai 55a-2006. Technical report, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2007.
- [Ram06] Franz Enrique Soto Ramírez. *Diseño y Construcción de una Unidad Meteorológica Basada en el Microcontrolador PIC16F877*. PhD thesis, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, Enero 2006.
- [VIS00] NI VISA. Labview basics ii. course manual. Manual, National Instrument, 2000.

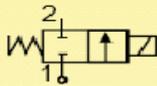
# Apéndice A

## Fichas Técnicas

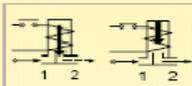
2/2 way - Normally Closed - Direct operated

Fittings: Rp = 1/8" - 1/4"

### Series 131.4



**N.C.**  
**Normally closed**  
 Coil energised - open  
 Coil de-energised - closed



#### General description:

PARKER series 131.4 solenoid valves are direct operated. They are used for general applications with media such as inert gases and light oils (2°E). Series 131.4 valves are normally closed.

#### Temperatures:

The working temperature for media is:  
 maximum +140°C  
 minimum -10°C  
 The maximum ambient temperature is:  
 +50°C

#### Application:

Series 131.4 solenoid valves are used for the automatic control of media where low flow rates are required. Some examples of applications are:

- welding machines with controlled atmosphere;
- diesel oil burners;
- gas analysers;
- fumes analysers;
- distribution of light oils;
- measurement and control instruments;
- lubrication systems.

#### Coils:

For series 131.4 valves class "F" coils (155°C), encapsulated in thermoplastic containing 30% glass fiber (type KT), are available.

All the coils are for continuous service, 100% E.D.

The rated voltage tolerance is:  
 ±10% for A.C. power supply and  
 +10% -5% for D.C.

The "K" coil can be used on a.c. with frequency 50 Hz or 60 Hz (single frequency) and has Faston terminals for DIN 43650A connector with protection to IP65.

#### Installation:

The valves can be mounted in any position without jeopardising their operation. It is however advisable to install them with the coil in a vertical position above the body. The valve body has 2 mounting holes diam. M4 x 7 with centre distance 13 x 13.

#### Approvals:

 - Coil certification:  
 KH 09 24V/50Hz  
 115V/50Hz  
 230V/50Hz  
 KT 09 115V/50Hz  
 220-230V/50Hz

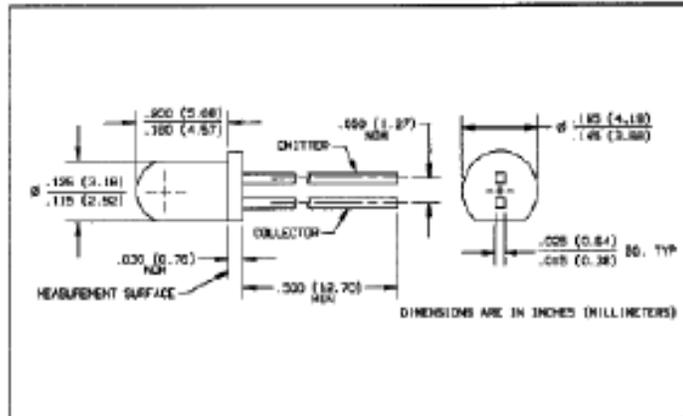
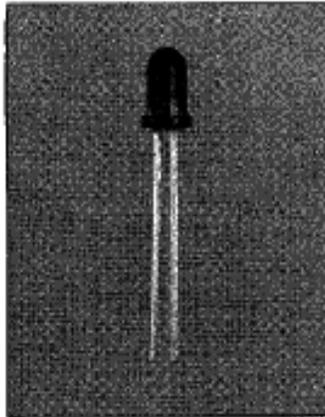


Series **131.4**



Product Bulletin OP505A  
June 1996

## Infrared Selected NPN Silicon Phototransistors Types OP505A, OP505B, OP505C, OP505D



### Features

- Narrow receiving angle
- Variety of sensitivity ranges
- T-1 package style
- Small package size for space limited applications

### Description

The OP505 series devices consist of NPN silicon phototransistors molded in blue tinted epoxy packages. The narrow receiving angle provides excellent on-axis coupling. These devices are 100% production tested using infrared light for close correlation with Optek's GaAs and GaAlAs emitters.

### Replaces

K5500 Series

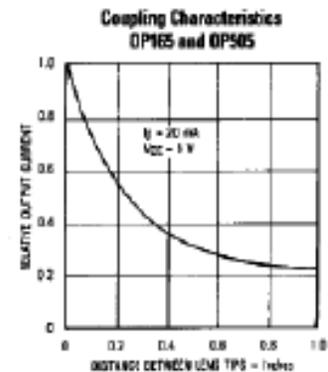
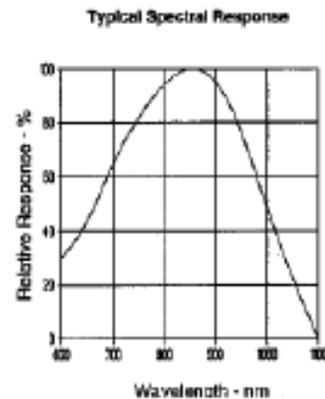
### Absolute Maximum Ratings (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Collector-Emitter Voltage	30 V
Emitter-Collector Voltage	5.0 V
Storage and Operating Temperature Range	-40°C to +100°C
Lead Soldering Temperature (1/16 inch (1.6 mm) from case for 5 sec. with soldering iron)	280°C <sup>(1)</sup>
Power Dissipation	100 mW <sup>(2)</sup>

#### Notes:

- (1) FMA flux is recommended. Duration can be extended to 10 sec. max. when low soldering. Max. 20 grams force may be applied to leads when soldering.
- (2) Derate linearly 1.33 mW/°C above 25°C.
- (3) Light source is an unfiltered GaAs LED with a peak emission wavelength of 935 nm and a radiometric intensity level which varies less than 10% over the entire lens surface of the phototransistor being tested.
- (4) To calculate typical collector dark current in  $\mu A$ , use the formula  $I_{CE0} = 10^{(0.040 T_A - 3.40)}$  where T<sub>A</sub> is ambient temperature in °C.

### Typical Performance Curves



# Types OP505A, OP505B, OP505C, OP505D

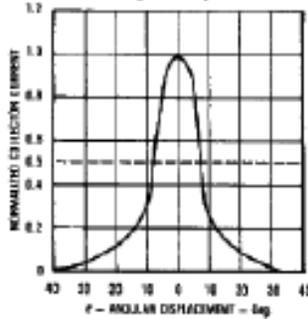
Electrical Characteristics ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
$I_{C(ON)}$	On-State Collector Current	OP505D 0.55 OP505C 1.10 OP505B 2.15 OP505A 4.30		3.00 5.95	mA	$V_{CE} = 5\text{ V}, E_b = 0.50\text{ mW/cm}^2$ $V_{CE} = 5\text{ V}, E_b = 0.50\text{ mW/cm}^2$ $V_{CE} = 5\text{ V}, E_b = 0.50\text{ mW/cm}^2$ $V_{CE} = 5\text{ V}, E_b = 0.50\text{ mW/cm}^2$
$\Delta I_C/\Delta T$	Relative $I_C$ Changes with Temperature		1.00		%/°C	$V_{CE} = 5\text{ V}, E_b = 1.00\text{ mW/cm}^2$ $\lambda = 935\text{ nm}$
$I_{CEO}$	Collector Dark Current			100	nA	$V_{CE} = 10.0\text{ V}, E_b = 0^{(4)}$
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	30			V	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$
$V_{(BR)ECO}$	Emitter-Collector Breakdown Voltage	5.0			V	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$
$V_{CE(sAT)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage			0.40	V	$I_C = 250\text{ }\mu\text{A}, E_b = 0.50\text{ mW/cm}^2$ $\lambda = 935\text{ nm}$

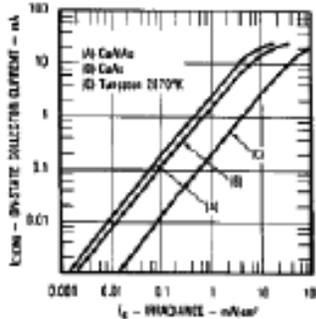
PHOTOSENSITIVE

## Typical Performance Curves

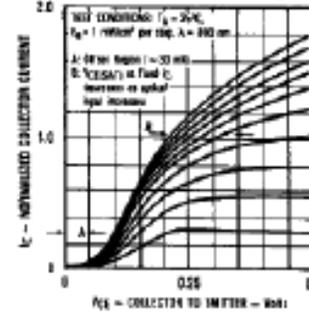
Normalized Collector Current vs. Angular Displacement



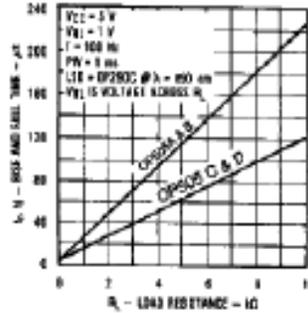
On-State Collector Current vs. Irradiance



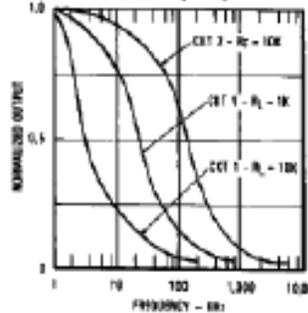
Normalized Collector Current vs. Collector to Emitter Voltage



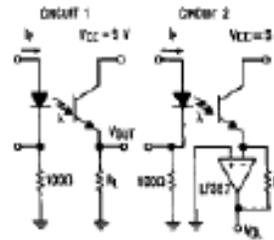
Rise and Fall Time vs. Load Resistance



Normalized Output vs. Frequency



Switching Time Test Circuit



Test Conditions:  
Light source is pulsed LED with  $t_r$  and  $t_f$  of 200 ns.  
 $t_r$  is referred to  $I_{C(sAT)}$  - 1 Volt.

## LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

### Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (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.

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V (LM224, LM324, LM324A)
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation

MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM224 LM324, LM324A	LM2902, LM2902V	Unit
Power Supply Voltages Single Supply	V <sub>CC</sub>	32	26	Vdc
Split Supplies	V <sub>CC</sub> , V <sub>EE</sub>	±16	±13	
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V <sub>IDR</sub>	±32	±26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V <sub>ICR</sub>	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	t <sub>SC</sub>	Continuous		
Junction Temperature	T <sub>J</sub>	150		°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-65 to +150		°C
Operating Ambient Temperature Range	T <sub>A</sub>			°C
LM224		-25 to +85		
LM324, 324A		0 to +70		
LM2902			-40 to +105	
LM2902V, NCV2902			-40 to +125	

1. Split Power Supplies.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



PDI-14  
N SUFFIX  
CASE 848

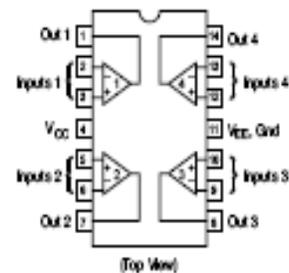


SO-14  
D SUFFIX  
CASE 761A



TSSOP-14  
DTB SUFFIX  
CASE 9480

#### PIN CONNECTIONS



#### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 9 of this data sheet.

#### DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 10 of this data sheet.

## LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ ,  $V_{EE} = \text{Gnd}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V to }30\text{ V}$ (28 V for LM2902, V) $V_{ICR} = 0\text{ V to }V_{CC} - 1.7\text{ V}$ $V_O = 1.4\text{ V}$ , $R_B = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{High}$ (Note 2) $T_A = T_{Low}$ (Note 2)	$V_{IO}$	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{High}$ to $T_{Low}$ (Notes 2 and 4)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{High}$ to $T_{Low}$ (Note 2)	$I_{IO}$	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{High}$ to $T_{Low}$ (Notes 2 and 4)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{High}$ to $T_{Low}$ (Note 2)	$I_B$	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 3) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2902, V) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{High}$ to $T_{Low}$ (Note 2)	$V_{ICM}$	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	24.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	$V_{IDR}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ , $V_{OC} = 15\text{ V}$ , for Large $V_O$ Swing $T_A = T_{High}$ to $T_{Low}$ (Note 2)	$A_{VOL}$	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	dB
Channel Separation 10 kHz $\leq f \leq$ 30 kHz, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, $R_B \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	60	70	-	60	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	60	100	-	60	100	-	dB

2. LM224:  $T_{Low} = -25^\circ\text{C}$ ,  $T_{High} = +85^\circ\text{C}$   
 LM324/LM324A:  $T_{Low} = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_{High} = +70^\circ\text{C}$   
 LM2902:  $T_{Low} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{High} = +105^\circ\text{C}$   
 LM2902V & NCV2902:  $T_{Low} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{High} = +125^\circ\text{C}$   
 NCV2902 is qualified for automotive use.

3. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is  $V_{CC} - 1.7\text{ V}$ .
4. Guaranteed by design.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ ,  $V_{EE} = \text{Gnd}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage—High Limit ( $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ ) (Note 5)	$V_{OH}$																V
$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	
$V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2902, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$		26	-	-	26	-	-	26	-	-	22	-	-	22	-	-	
$V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2902, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$		27	28	-	27	28	-	27	28	-	23	24	-	23	24	-	
Output Voltage—Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$ , $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 5)	$V_{OL}$	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	100	-	5.0	100	mV
Output Source Current ( $V_{IP} = +1.0\text{ V}$ , $V_{CC} = 15\text{ V}$ ) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 5)	$I_{O+}$																mA
		20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	
		10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	
Output Sink Current ( $V_{IP} = -1.0\text{ V}$ , $V_{CC} = 15\text{ V}$ ) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 5)	$I_{O-}$																mA
		10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	
		5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	
( $V_{IP} = -1.0\text{ V}$ , $V_O = 200\text{ mV}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )		12	50	-	12	50	-	12	50	-	-	-	-	-	-	-	$\mu\text{A}$
Output Short Circuit to Ground (Note 6)	$I_{SC}$	-	40	80	-	40	80	-	40	60	-	40	80	-	40	80	mA
Power Supply Current ( $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ ) (Note 5)	$I_{CC}$																mA
$V_{CC} = 30\text{ V}$ (28 V for LM2902, V), $V_O = 0\text{ V}$ , $R_L = \infty$		-	-	3.0	-	1.4	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	
$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , $V_O = 0\text{ V}$ , $R_L = \infty$		-	-	1.2	-	0.7	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	

5. LM224:  $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$   
 LM324/LM324A:  $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$   
 LM2902:  $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$   
 LM2902V & NCV2902:  $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$   
 NCV2902 is qualified for automotive use.

6. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is  $V_{CC} - 1.7\text{ V}$ .

## LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

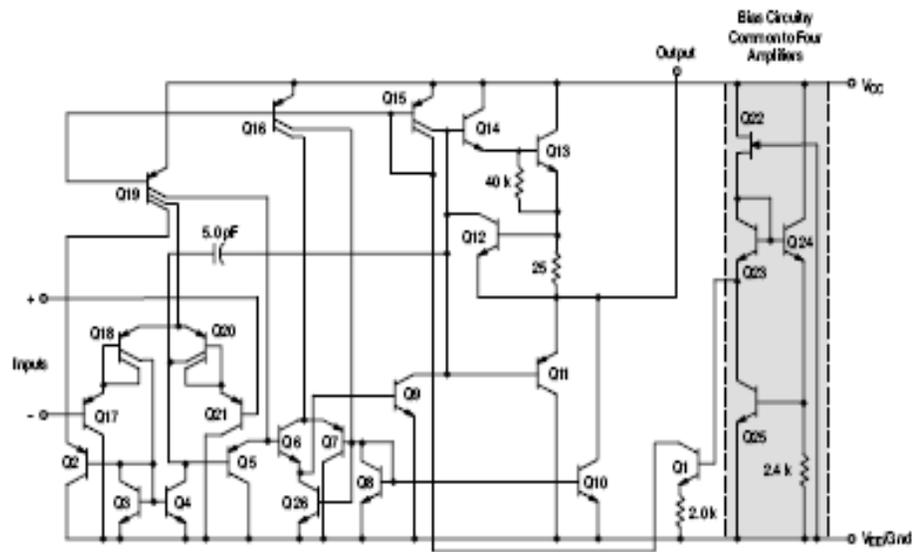


Figure 1. Representative Circuit Diagram  
(One-Fourth of Circuit Shown)

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

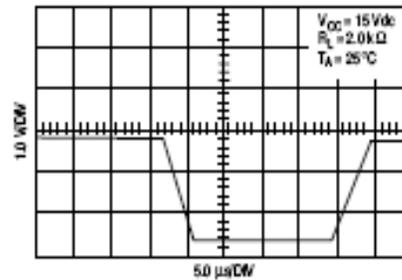


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.

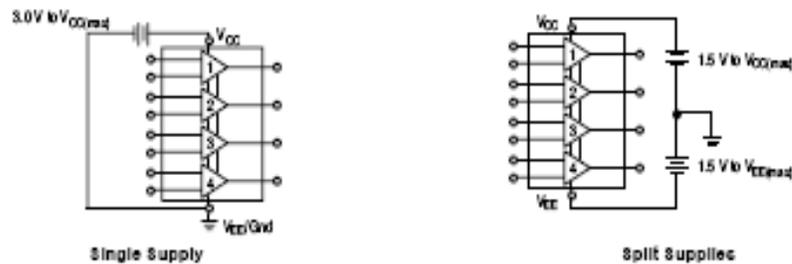


Figure 3.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

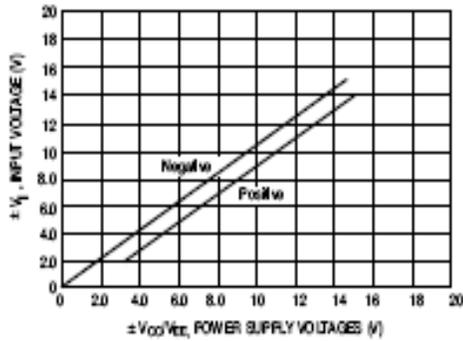


Figure 4. Input Voltage Range

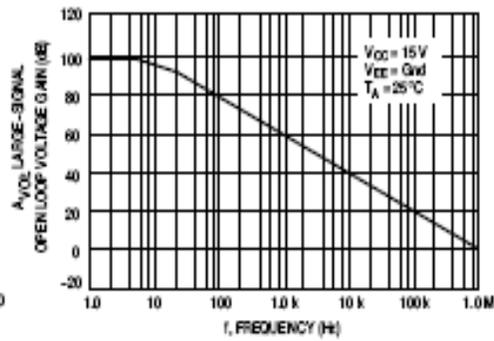


Figure 5. Open Loop Frequency

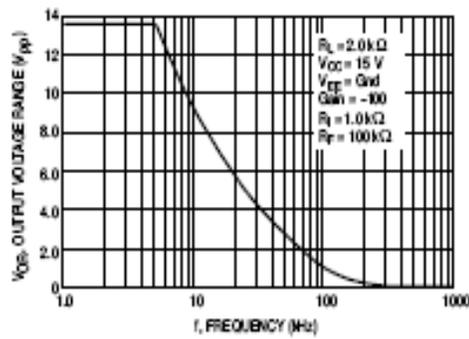


Figure 6. Large-Signal Frequency Response

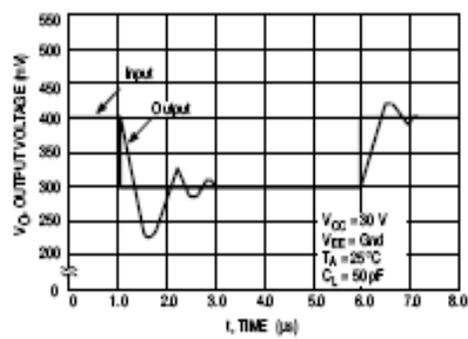


Figure 7. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

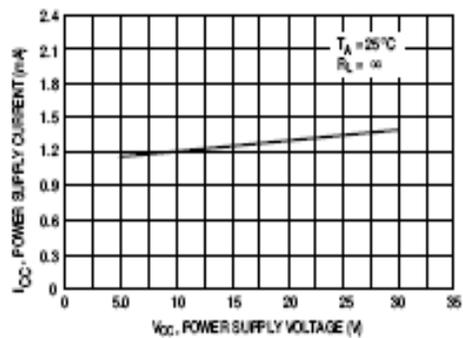


Figure 8. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

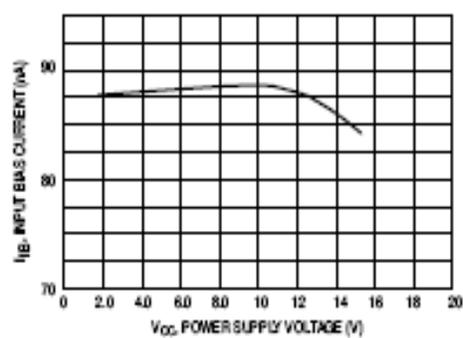


Figure 8. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

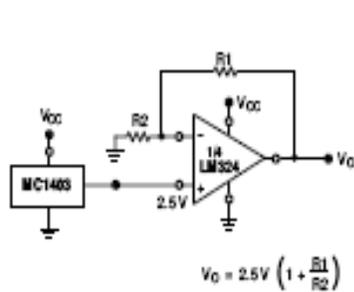


Figure 10. Voltage Reference

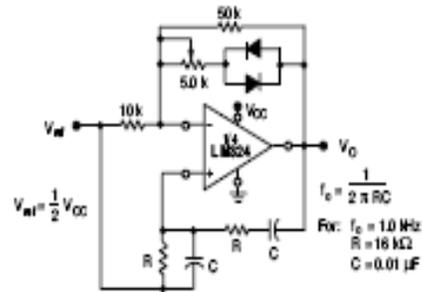


Figure 11. Wien Bridge Oscillator

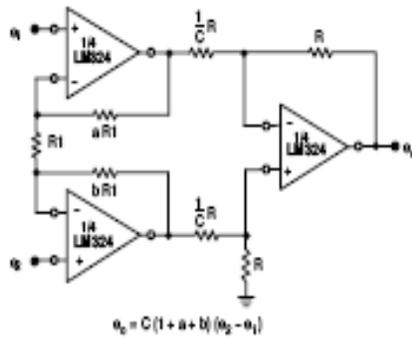


Figure 12. High Impedance Differential Amplifier

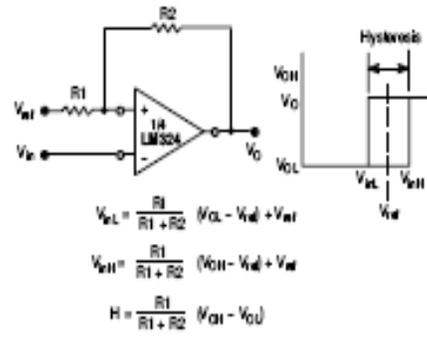


Figure 13. Comparator with Hysteresis

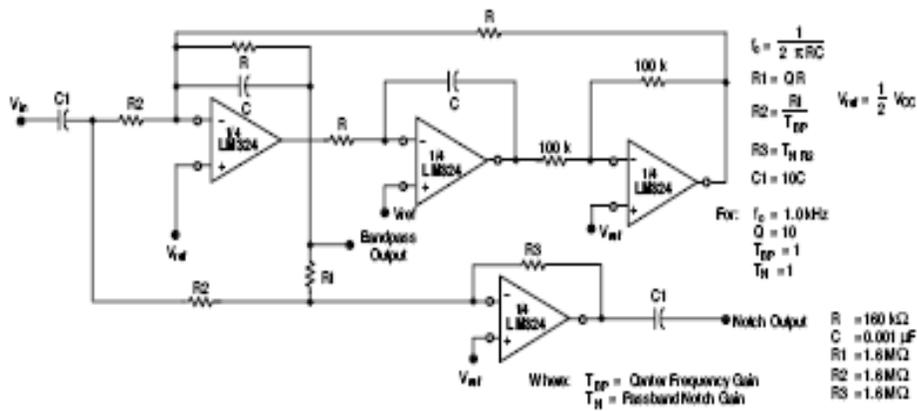


Figure 14. BI-Quad Filter

## LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

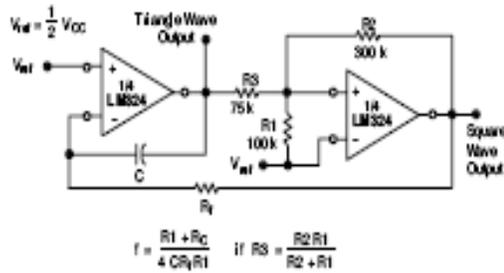


Figure 16. Function Generator

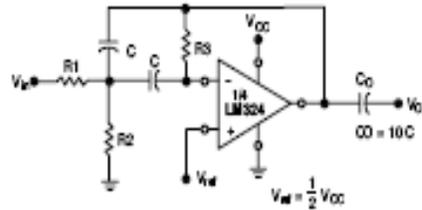


Figure 18. Multiple Feedback Bandpass Filter

Given:  $f_c$  = center frequency

$A(f_c)$  = gain at center frequency

Choose value  $f_c$ , C

$$\text{Then: } R3 = \frac{Q}{\pi f_c C}$$

$$R1 = \frac{R3}{2 A(f_c)}$$

$$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$$

For less than 10% error from operational amplifier,  $\frac{Q_c f_c}{BW} < 0.1$   
 where  $f_c$  and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

## LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

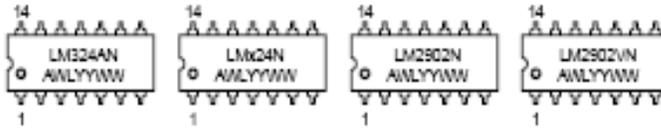
## ORDERING INFORMATION

Device	Package	Operating Temperature Range	Shipping
LM224D	SO-14	-25° to +85°C	55 Units/Reel
LM224DR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM224DTB	TSSOP-14		95 Units/Reel
LM224DTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM224N	PDIP-14		25 Units/Reel
LM324D	SO-14	0° to +70°C	55 Units/Reel
LM324DR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM324DTB	TSSOP-14		95 Units/Reel
LM324DTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM324N	PDIP-14		25 Units/Reel
LM324AD	SO-14		55 Units/Reel
LM324ADR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM324ADTB	TSSOP-14		95 Units/Reel
LM324ADTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM324AN	PDIP-14		25 Units/Reel
LM2902D	SO-14	-40° to +105°C	55 Units/Reel
LM2902DR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM2902DTB	TSSOP-14		95 Units/Reel
LM2902DTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM2902N	PDIP-14		25 Units/Reel
LM2902VD	SO-14	-40° to +125°C	55 Units/Reel
LM2902VDR2	SO-14		2500 Tape & Reel
LM2902VDTB	TSSOP-14		95 Units/Reel
LM2902VDTBR2	TSSOP-14		2500 Tape & Reel
LM2902VN	PDIP-14		25 Units/Reel
NCV2902DR2	SO-14		2500 Tape & Reel

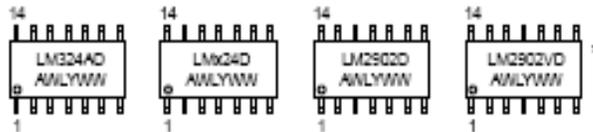
LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

MARKING DIAGRAMS

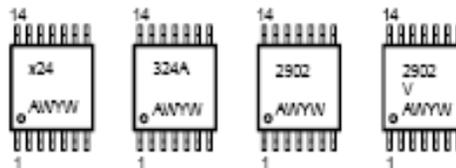
PDIP-14  
N SUFFIX  
CASE 848



SO-14  
D SUFFIX  
CASE 751A



TSSOP-14  
DTB SUFFIX  
CASE 848G



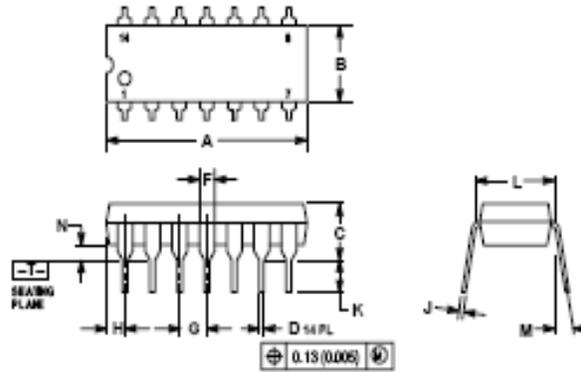
- x = 2 or 3
- A = Assembly Location
- WL = Wafer Lot
- YY, Y = Year
- WW, W = Work Week

\*This marking diagram also applies to NCV2902.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-14  
N SUFFIX  
CASE 646-06  
ISSUE M

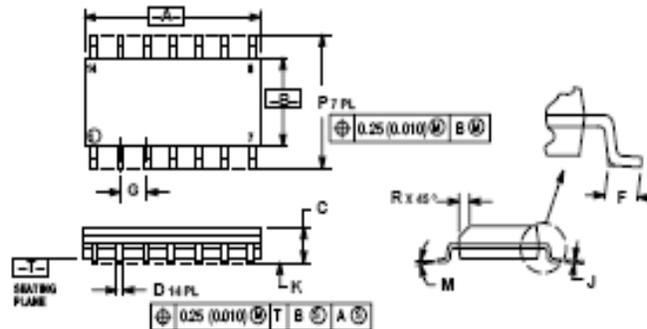


NOTES:

1. DIMENSIONS AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 2018.
2. CONTROL LING DIMENSION (H) IS CONTROLLING DIMENSION (H).
3. DIMENSION TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.75	0.774	19.30	19.66
B	0.28	0.305	7.13	7.78
C	0.26	0.285	6.60	7.28
D	0.05	0.071	1.27	1.81
E	0.04	0.071	1.02	1.78
F	0.18	0.20	4.57	5.08
G	0.18	0.20	4.57	5.08
H	0.02	0.025	0.51	0.64
J	0.08	0.105	2.03	2.67
K	0.15	0.175	3.81	4.43
L	0.28	0.315	7.13	7.99
M	—	16°	—	16°
N	0.05	0.075	1.27	1.91

SO-14  
D SUFFIX  
CASE 751A-03  
ISSUE F



NOTES:

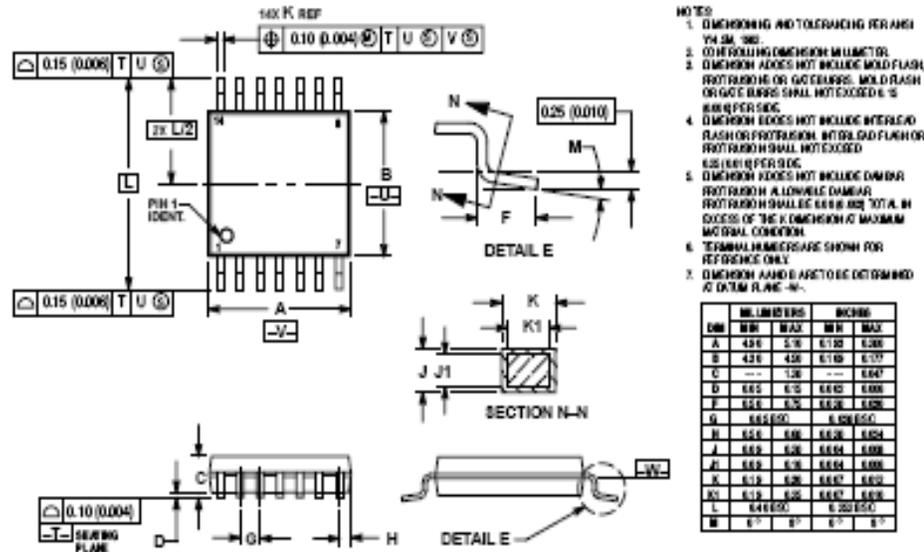
1. DIMENSIONS AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 2018.
2. CONTROL LING DIMENSION (H) IS MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION IS 0.05 (0.002) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.07 (0.003) TOTAL. EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	6.25	6.75	0.247	0.264
B	2.38	4.83	0.094	0.190
C	1.25	1.75	0.049	0.069
D	0.25	0.49	0.010	0.019
E	0.25	1.27	0.010	0.050
F	1.27	5.08	0.050	0.200
G	1.27	5.08	0.050	0.200
H	0.25	0.64	0.010	0.025
J	0.25	0.51	0.010	0.020
K	0.25	0.51	0.010	0.020
L	0.25	0.51	0.010	0.020
M	0.25	0.51	0.010	0.020
N	0.25	0.51	0.010	0.020
P	0.25	0.51	0.010	0.020
Q	0.25	0.51	0.010	0.020
R	0.25	0.51	0.010	0.020

## LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

## PACKAGE DIMENSIONS

T880P-14  
DTB SUFFIX  
CASE 948G-01  
ISSUE 0



ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

## PUBLICATION ORDERING INFORMATION

Literature Fulfillment  
Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA  
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
Fax: 303-675-2178 or 800-344-3887 Toll Free USA/Canada  
Email: [ONL@mcq.com](mailto:ONL@mcq.com)

N. American Technical Support: 800-382-0855 Toll Free USA/Canada

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center  
4-30-1 Nishi-Ogino, Shinjyogawa-Ku, Tokyo, Japan 141-0031  
Phone: 81-3-5746-2700  
Email: [r14625@onsemi.com](mailto:r14625@onsemi.com)

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

**MOTOROLA**  
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document  
by 4N26/D



**6-Pin DIP Optoisolators  
Transistor Output**

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 8884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 8884 is a test option.*

**Applications**

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

**MAXIMUM RATINGS** (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

**INPUT LED**

Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	3	Volts
Forward Current — Continuous	I <sub>F</sub>	60	mA
LED Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	120 1.41	mW mW/°C

**OUTPUT TRANSISTOR**

Collector-Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V <sub>ECO</sub>	7	Volts
Collector-Base Voltage	V <sub>CBO</sub>	70	Volts
Collector Current — Continuous	I <sub>C</sub>	150	mA
Detector Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	150 1.76	mW mW/°C

**TOTAL DEVICE**

Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V <sub>ISO</sub>	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	250 2.94	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range <sup>(2)</sup>	T <sub>A</sub>	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range <sup>(2)</sup>	T <sub>stg</sub>	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T <sub>L</sub>	260	°C

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value. GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 5

© Motorola, Inc. 1995

**4N25\***  
**4N25A\***  
**4N26\***  
(CTR = 20% Min)  
**4N27**  
**4N28**  
(CTR = 10% Min)

\*Motorola Preferred Devices

**STYLE 1 PLASTIC**

**STANDARD THRU HOLE  
CASE 750A-04**

**SCHEMATIC**

**PIN 1. LED ANODE  
2. LED CATHODE  
3. N.C.  
4. EMITTER  
5. COLLECTOR  
6. BASE**



**4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

Characteristic	Symbol	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit	
<b>INPUT LED</b>						
Forward Voltage (I <sub>F</sub> = 10 mA)	T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>A</sub> = -55°C T <sub>A</sub> = 100°C	V <sub>F</sub>	—	1.15	1.5	Volts
			—	1.3	—	
			—	1.05	—	
Reverse Leakage Current (V <sub>R</sub> = 3 V)		I <sub>R</sub>	—	—	100	μA
Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)		C <sub>J</sub>	—	18	—	pF

**OUTPUT TRANSISTOR**

Collector-Emitter Dark Current (V <sub>CE</sub> = 10 V, T <sub>A</sub> = 25°C)	4N25,25A,26,27 4N28	I <sub>CEO</sub>	—	1	50	nA
	(V <sub>CE</sub> = 10 V, T <sub>A</sub> = 100°C)	All Devices	I <sub>CEO</sub>	—	1	—
Collector-Base Dark Current (V <sub>CB</sub> = 10 V)		I <sub>CBO</sub>	—	0.2	—	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I <sub>C</sub> = 1 mA)		V <sub>(BR)CEO</sub>	30	45	—	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage (I <sub>C</sub> = 100 μA)		V <sub>(BR)CBO</sub>	70	100	—	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage (I <sub>E</sub> = 100 μA)		V <sub>(BR)ECO</sub>	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain (I <sub>C</sub> = 2 mA, V <sub>CE</sub> = 5 V)		h <sub>FE</sub>	—	500	—	—
Collector-Emitter Capacitance (f = 1 MHz, V <sub>CE</sub> = 0)		C <sub>CE</sub>	—	7	—	pF
Collector-Base Capacitance (f = 1 MHz, V <sub>CB</sub> = 0)		C <sub>CB</sub>	—	19	—	pF
Emitter-Base Capacitance (f = 1 MHz, V <sub>EB</sub> = 0)		C <sub>EB</sub>	—	9	—	pF

**COUPLED**

Output Collector Current (I <sub>F</sub> = 10 mA, V <sub>CE</sub> = 10 V)	4N25,25A,26 4N27,28	I <sub>C</sub> (CTR) <sup>(2)</sup>	2 (20)	7 (70)	—	mA (%)
			1 (10)	5 (50)	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage (I <sub>C</sub> = 2 mA, I <sub>F</sub> = 50 mA)		V <sub>CE(sat)</sub>	—	0.15	0.5	Volts
Turn-On Time (I <sub>F</sub> = 10 mA, V <sub>OC</sub> = 10 V, R <sub>L</sub> = 100 Ω) <sup>(3)</sup>		t <sub>on</sub>	—	2.8	—	μs
Turn-Off Time (I <sub>F</sub> = 10 mA, V <sub>OC</sub> = 10 V, R <sub>L</sub> = 100 Ω) <sup>(3)</sup>		t <sub>off</sub>	—	4.5	—	μs
Rise Time (I <sub>F</sub> = 10 mA, V <sub>OC</sub> = 10 V, R <sub>L</sub> = 100 Ω) <sup>(3)</sup>		t <sub>r</sub>	—	1.2	—	μs
Fall Time (I <sub>F</sub> = 10 mA, V <sub>OC</sub> = 10 V, R <sub>L</sub> = 100 Ω) <sup>(3)</sup>		t <sub>f</sub>	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage (f = 60 Hz, t = 1 sec) <sup>(4)</sup>		V <sub>ISO</sub>	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance (V = 500 V) <sup>(4)</sup>		R <sub>ISO</sub>	10 <sup>11</sup>	—	—	Ω
Isolation Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz) <sup>(4)</sup>		C <sub>ISO</sub>	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = I<sub>C</sub>/I<sub>F</sub> × 100%.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

**4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28**

TYPICAL CHARACTERISTICS

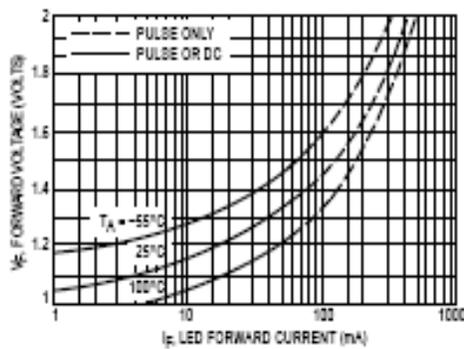


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

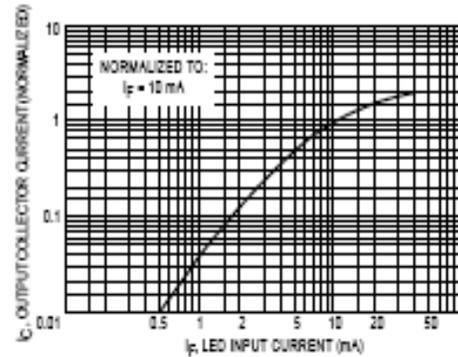


Figure 2. Output Current versus Input Current

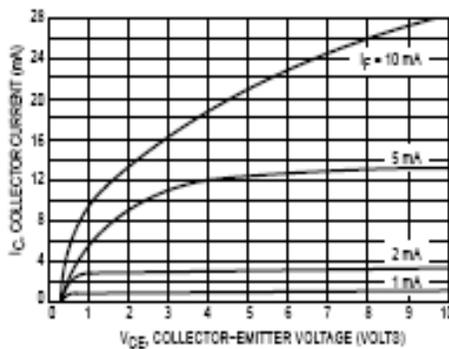


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

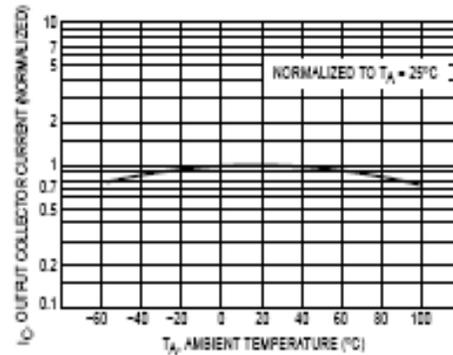


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

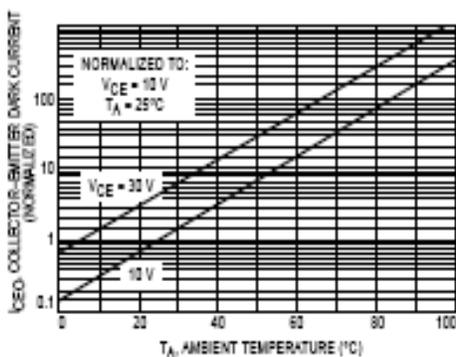


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

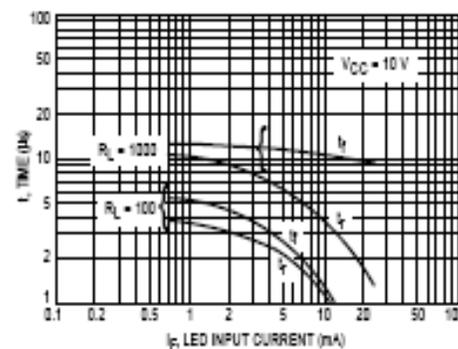


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

**4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28**

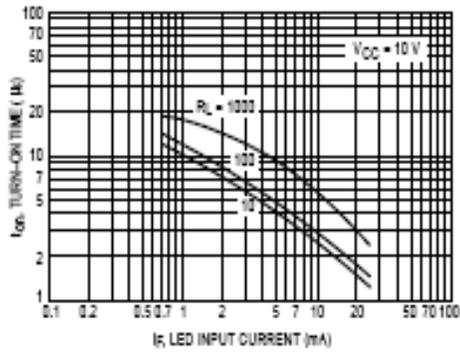


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

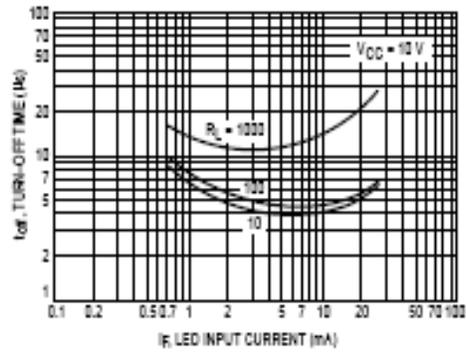


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

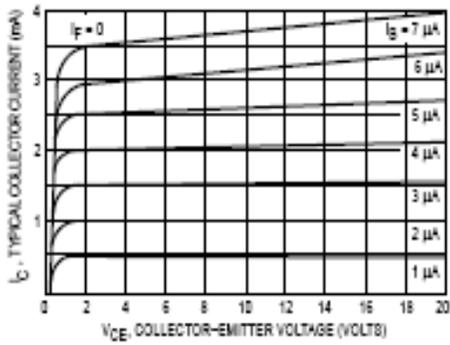


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

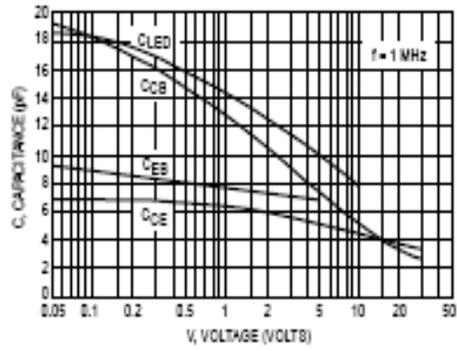


Figure 10. Capacitance versus Voltage

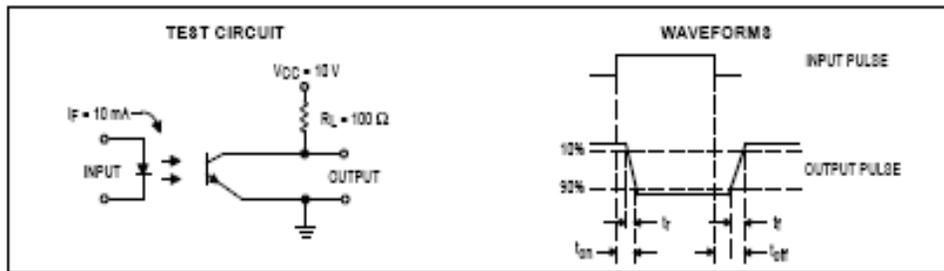
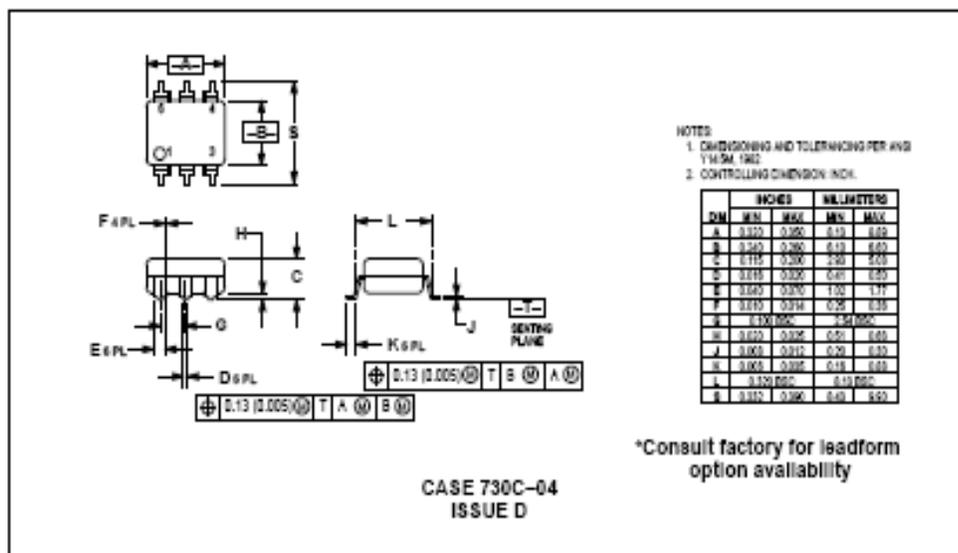
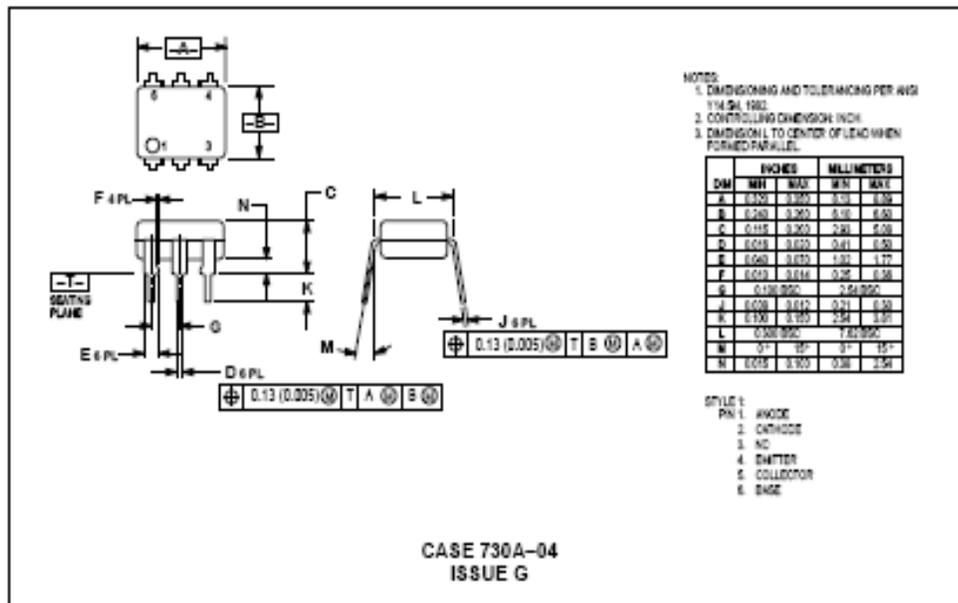


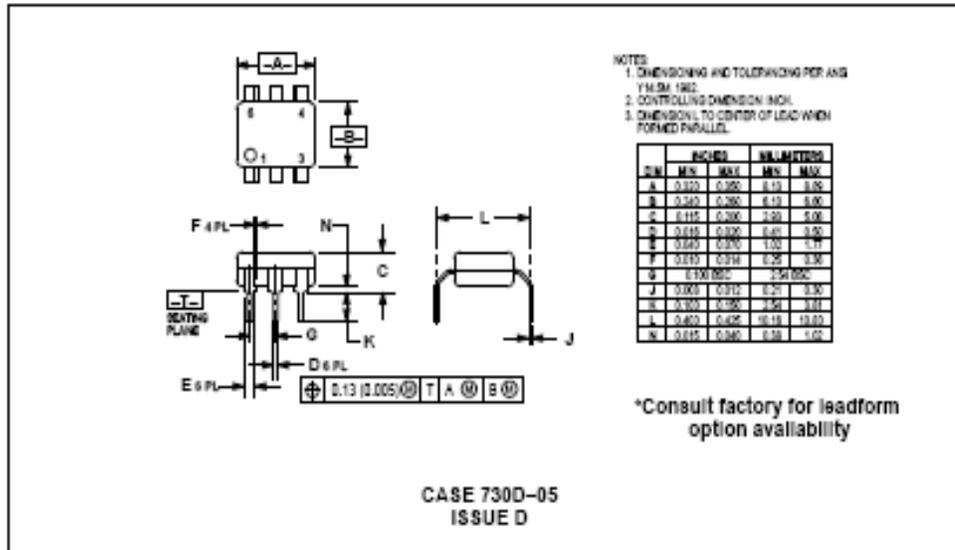
Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

**4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28**

**PACKAGE DIMENSIONS**



## 4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typical" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:  
USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution,  
P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036 1-800-441-3447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd., Tiburui-SPD-JLDC, Tachikawa-Obu, 6F Seto-Bukeyo-Center, 3-14-2 Tiburui-Ko-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-5315

MFAX: RMFA00@email.sps.mot.com - TOUCHSTONE (802) 244-8809  
INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd., 85 Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-2662339



4N25/D



## TIP110, TIP111, TIP112 (NPN); TIP115, TIP116, TIP117 (PNP)

TIP111, TIP112, TIP116, and TIP117 are Preferred Devices

### Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

Designed for general-purpose amplifier and low-speed switching applications.

#### Features

- High DC Current Gain -  
 $h_{FE} = 2500$  (Typ) @  $I_C$   
 $= 1.0$  Adc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage - @ 30 mA dc  
 $V_{CE(sus)} = 60$  Vdc (Min) - TIP110, TIP115  
 $= 80$  Vdc (Min) - TIP111, TIP116  
 $= 100$  Vdc (Min) - TIP112, TIP117
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage -  
 $V_{CE(sat)} = 2.5$  Vdc (Max) @  $I_C$   
 $= 2.0$  Adc
- Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistors
- Pb-Free Packages are Available\*



**ON Semiconductor**<sup>®</sup>

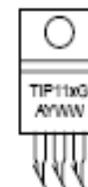
<http://onsemi.com>

**DARLINGTON  
2 AMPERE  
COMPLEMENTARY SILICON  
POWER TRANSISTORS  
60-80-100 VOLTS, 50 WATTS**



**MARKING  
DIAGRAM**

TO-220AB  
CASE 221A  
STYLE 1



TIP11x - Device Code  
 x - 0, 1, 2, 5, 6, or 7  
 A - Assembly Location  
 Y - Year  
 WW - Work Week  
 G - Pb-Free Package

#### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERM0.0.

## TIP110, TIP111, TIP112 (NPN); TIP115, TIP116, TIP117 (PNP)

## MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP110, TIP116	TIP111, TIP118	TIP112, TIP117	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	5.0			Vdc
Collector Current - Continuous - Peak	$I_C$	2.0 4.0			Adc
Base Current	$I_B$	50			mAdc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	50 0.4			W W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	2.0 0.016			W W/ $^\circ\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy - Figure 13	$E$	25			mJ
Operating and Storage Junction	$T_J, T_{stg}$	-65 to +150			$^\circ\text{C}$

## THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	2.5	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

## ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
TIP110	TO-220	50 Units / Rail
TIP110G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP111	TO-220	50 Units / Rail
TIP111G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP112	TO-220	50 Units / Rail
TIP112G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP115	TO-220	50 Units / Rail
TIP115G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP116	TO-220	50 Units / Rail
TIP116G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP117	TO-220	50 Units / Rail
TIP117G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail

TIP110, TIP111, TIP112 (NPN); TIP115, TIP116, TIP117 (PNP)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>C</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 1) (I <sub>C</sub> = 30 mA, I <sub>B</sub> = 0)	TIP110, TIP115 TIP111, TIP116 TIP112, TIP117	V <sub>CE(sus)</sub>	60 80 100	- - -	Vdc
Collector Cutoff Current (V <sub>CE</sub> = 30 Vdc, I <sub>B</sub> = 0) (V <sub>CE</sub> = 40 Vdc, I <sub>B</sub> = 0) (V <sub>CE</sub> = 50 Vdc, I <sub>B</sub> = 0)	TIP110, TIP115 TIP111, TIP116 TIP112, TIP117	I <sub>CEO</sub>	- - -	2.0 2.0 2.0	mA
Collector Cutoff Current (V <sub>CE</sub> = 60 Vdc, I <sub>B</sub> = 0) (V <sub>CE</sub> = 80 Vdc, I <sub>B</sub> = 0) (V <sub>CE</sub> = 100 Vdc, I <sub>B</sub> = 0)	TIP110, TIP115 TIP111, TIP116 TIP112, TIP117	I <sub>CBO</sub>	- - -	1.0 1.0 1.0	mA
Emitter Cutoff Current (V <sub>BE</sub> = 5.0 Vdc, I <sub>C</sub> = 0)		I <sub>ES0</sub>	-	2.0	mA
<b>ON CHARACTERISTICS (Note 1)</b>					
DC Current Gain (I <sub>C</sub> = 1.0 A, V <sub>CE</sub> = 4.0 Vdc) (I <sub>C</sub> = 2.0 A, V <sub>CE</sub> = 4.0 Vdc)		h <sub>FE</sub>	1000 500	- -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage (I <sub>C</sub> = 2.0 A, I <sub>B</sub> = 3.0 mA)		V <sub>CE(sat)</sub>	-	2.5	Vdc
Base-Emitter On Voltage (I <sub>C</sub> = 2.0 A, V <sub>CE</sub> = 4.0 Vdc)		V <sub>BE(on)</sub>	-	2.8	Vdc
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>					
Small-Signal Current Gain (I <sub>C</sub> = 0.75 A, V <sub>CE</sub> = 10 Vdc, f = 1.0 MHz)		h <sub>fe</sub>	25	-	-
Output Capacitance (V <sub>CE</sub> = 10 Vdc, I <sub>B</sub> = 0, f = 0.1 MHz)	TIP115, TIP116, TIP117 TIP110, TIP111, TIP112	C <sub>ob</sub>	- -	200 100	pF

1. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%.

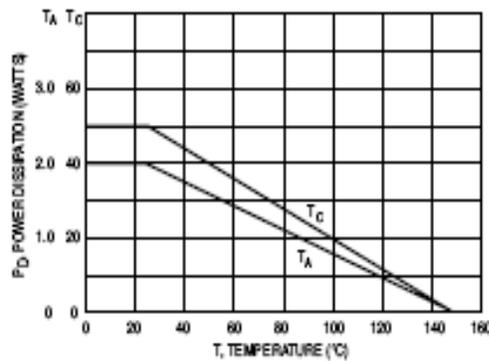


Figure 1. Power Derating

TIP110, TIP111, TIP112 (NPN); TIP115, TIP116, TIP117 (PNP)

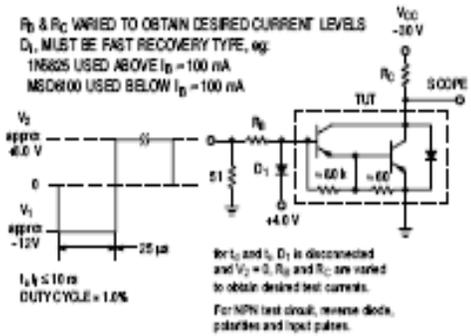


Figure 2. Switching Times Test Circuit

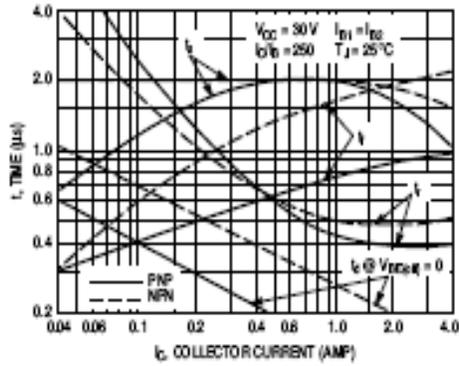


Figure 3. Switching Times

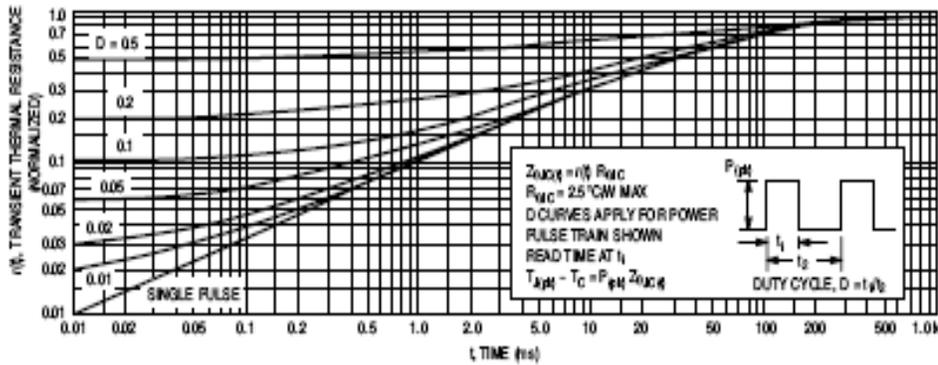


Figure 4. Thermal Response

TIP110, TIP111, TIP112 (NPN); TIP115, TIP116, TIP117 (PNP)

ACTIVE-REGION SAFE-OPERATING AREA

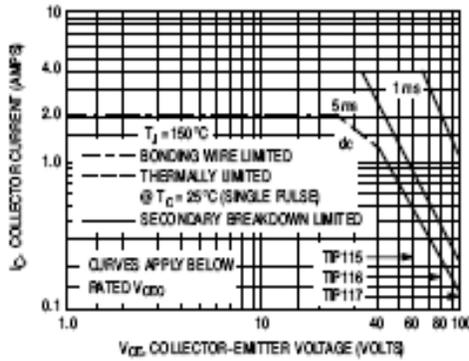


Figure 5. TIP115, 116, 117

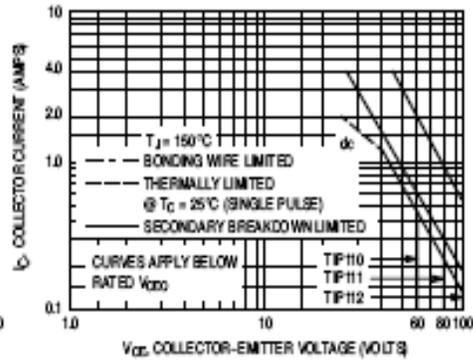


Figure 6. TIP110, 111, 112

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate  $I_C - V_{CE}$  limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figures 5 and 6 is based on  $T_{J(pk)} = 150^\circ\text{C}$ ;  $T_C$  is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided  $T_{J(pk)} < 150^\circ\text{C}$ .  $T_{J(pk)}$  may be calculated from the data in Figure 4. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

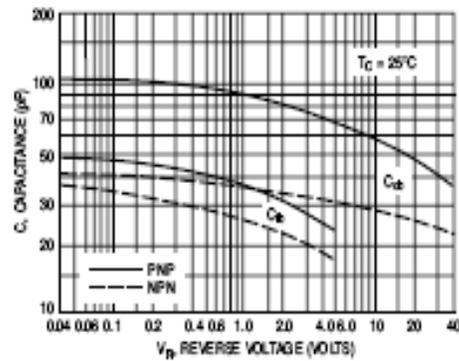


Figure 7. Capacitance

TIP110, TIP111, TIP112 (NPN); TIP115, TIP116, TIP117 (PNP)

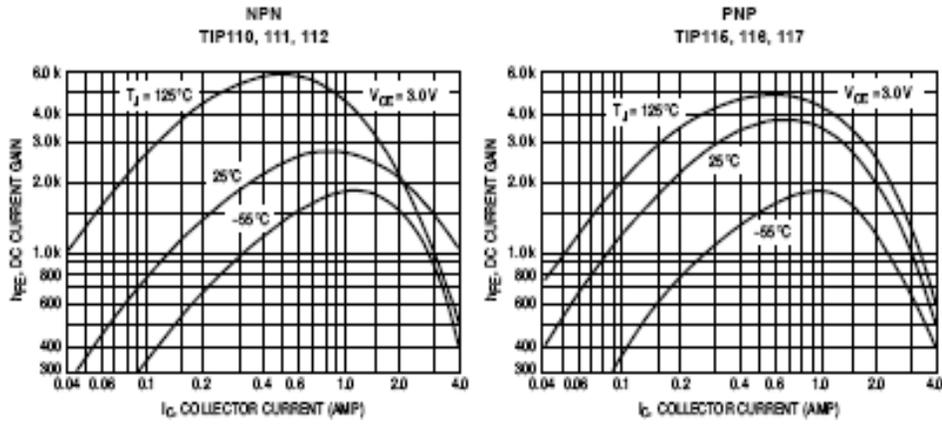


Figure 8. DC Current Gain

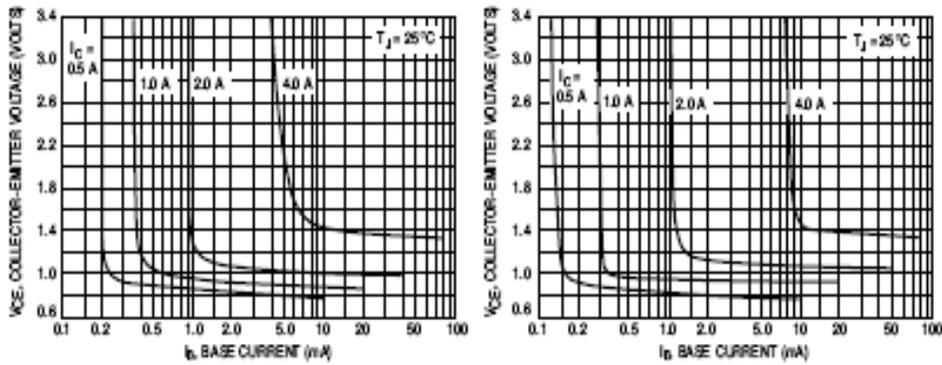


Figure 9. Collector Saturation Region

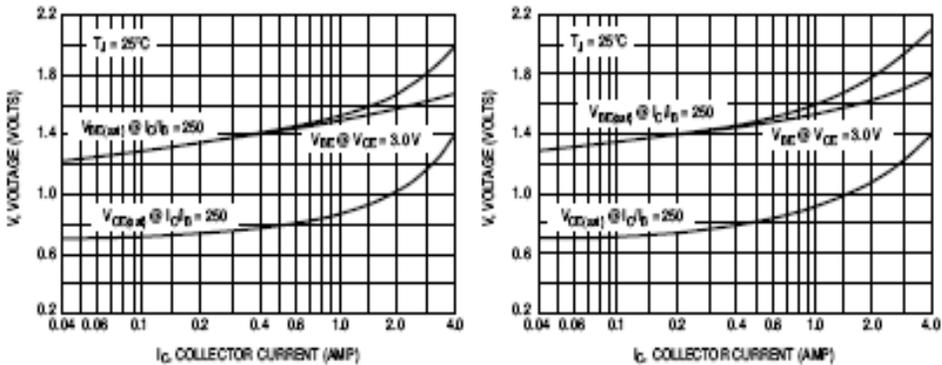


Figure 10. "On" Voltages

TIP110, TIP111, TIP112 (NPN); TIP115, TIP116, TIP117 (PNP)

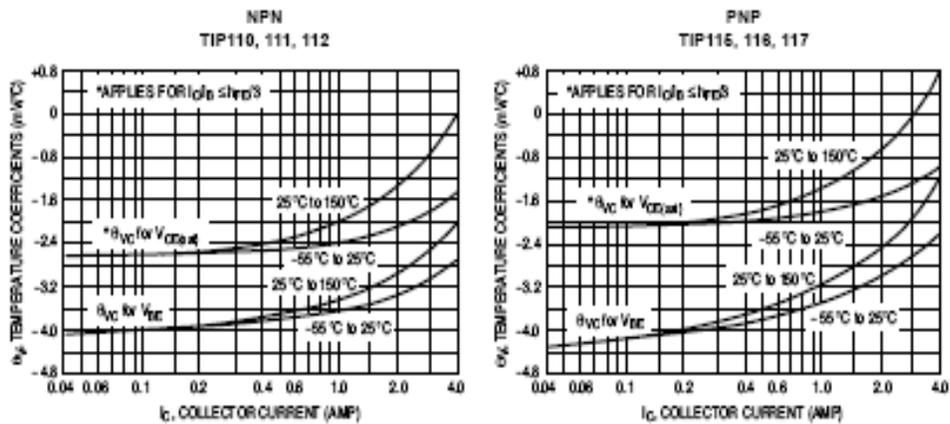


Figure 11. Temperature Coefficients

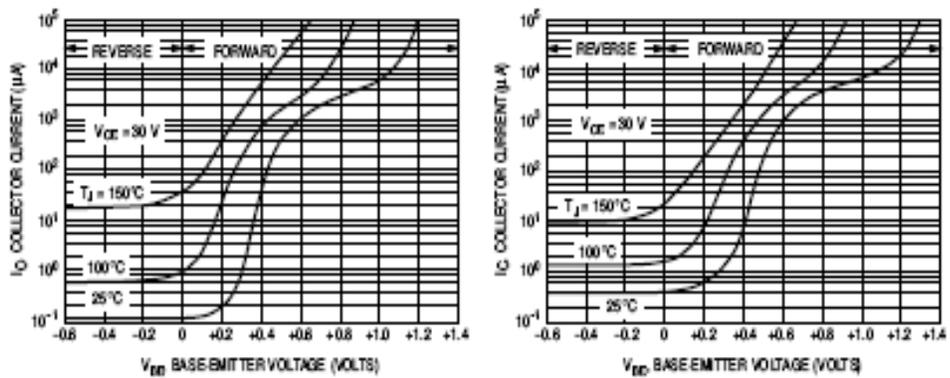
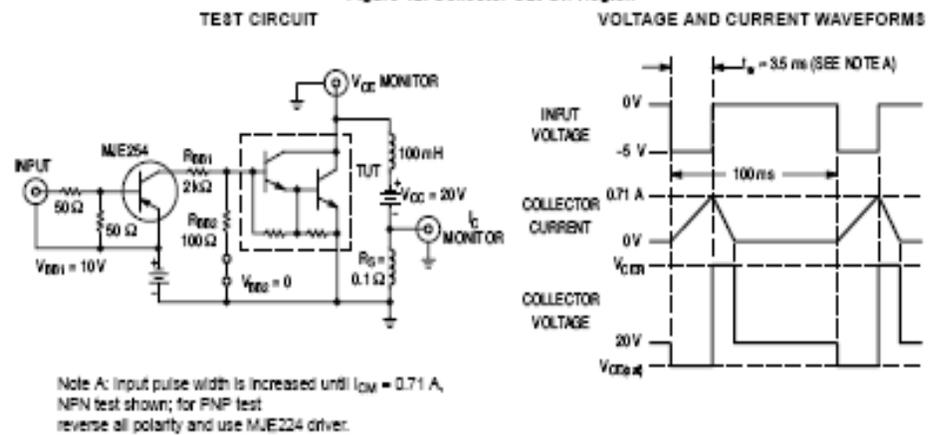


Figure 12. Collector Cut-Off Region



Note A: Input pulse width is increased until  $I_{CM} = 0.71$  A, NPN test shown; for PNP test reverse all polarity and use MJE224 driver.

Figure 13. Inductive Load Switching

**MOTOROLA**  
 SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

 Order this document  
 by 2N3055A/D

## Complementary Silicon High-Power Transistors

... PowerBase complementary transistors designed for high power audio, stepping motor and other linear applications. These devices can also be used in power switching circuits such as relay or solenoid drivers, dc-to-dc converters, inverters, or for inductive loads requiring higher safe operating area than the 2N3055 and MJ2955.

- Current-Gain — Bandwidth-Product @  $I_C = 1.0$  Adc  
 $f_T = 0.8$  MHz (Min) — NPN  
 $f_T = 2.2$  MHz (Min) — PNP
- Safe Operating Area — Rated to 60 V and 120 V, Respectively

**\*MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	2N3055A MJ2955A	MJ15015 MJ15016	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	60	120	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CB0}$	100	200	Vdc
Collector-Emitter Voltage Base Reversed Biased	$V_{CEV}$	100	200	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB0}$	7.0		Vdc
Collector Current — Continuous	$I_C$	15		A dc
Base Current	$I_B$	7.0		A dc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	115 0.65	180 1.03	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-65 to +200		°C

**THERMAL CHARACTERISTICS**

Characteristic	Symbol	Max.	Max.	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	0.98	°C/W

\*Indicates JEDEC Registered Data. (2N3055A)

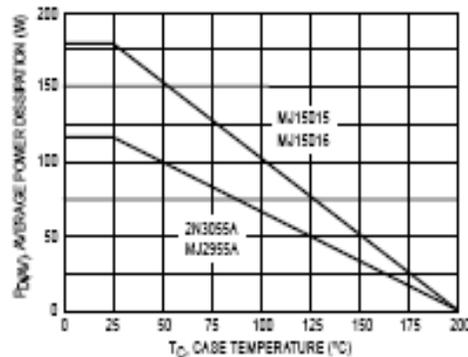


Figure 1. Power Derating

Preferred devices are Motorola's recommended choices for future use and best overall value.

REV 1

© Motorola, Inc. 1995

**NPN**  
**2N3055A**  
**MJ15015\***  
**MJ2955A**  
**PNP**  
**MJ15016\***

\*Motorola Preferred Device

**16 AMPERE**  
**COMPLEMENTARY**  
**SILICON**  
**POWER TRANSISTORS**  
 60, 120 VOLTS  
 115, 180 WATTS



CASE 1-07  
 TO-204AA  
 (TO-3)

**MOTOROLA**

**2N3055A MJ15015 MJ2955A MJ15016**ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

**OFF CHARACTERISTICS (1)**

*Collector-Emitter Sustaining Voltage ( $I_C = 200\text{ mA}$ , $I_B = 0$ )	2N3055A, MJ2955A MJ15015, MJ15016	$V_{CE(sus)}$	60 120	— —	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $V_{BE(off)} = 0\text{ Vdc}$ ) ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}$ , $V_{BE(off)} = 0\text{ Vdc}$ )	2N3055A, MJ2955A MJ15015, MJ15016	$I_{CEO}$	— —	0.7 0.1	mA
*Collector Cutoff Current ( $V_{CEV} = \text{Rated Value}$ , $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$ )	2N3055A, MJ2955A MJ15015, MJ15016	$I_{CEV}$	— —	5.0 1.0	mA
Collector Cutoff Current ( $V_{CEV} = \text{Rated Value}$ , $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$ , $T_C = 150^\circ\text{C}$ )	2N3055A, MJ2955A MJ15015, MJ15016	$I_{CEV}$	— —	30 6.0	mA
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 7.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	2N3055A, MJ2955A MJ15015, MJ15016	$I_{EBO}$	— —	5.0 0.2	mA

**\*SECOND BREAKDOWN**

Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased ( $t = 0.5\text{ s}$ non-repetitive) ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}$ )	2N3055A, MJ2955A MJ15015, MJ15016	$I_{SIB}$	1.95 3.0	— —	A
---	--------------------------------------	-----------	-------------	--------	---

**\*ON CHARACTERISTICS (1)**

DC Current Gain ( $I_C = 4.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 2.0\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 4.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ A}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )		$h_{FE}$	10 20 5.0	70 70 —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 4.0\text{ A}$ , $I_B = 400\text{ mA}$ ) ( $I_C = 10\text{ A}$ , $I_B = 3.3\text{ A}$ ) ( $I_C = 15\text{ A}$ , $I_B = 7.0\text{ A}$ )		$V_{CE(sat)}$	— — —	1.1 3.0 5.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ( $I_C = 4.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )		$V_{BE(on)}$	0.7	1.8	Vdc

**\*DYNAMIC CHARACTERISTICS**

Current-Gain — Bandwidth Product ( $I_C = 1.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	2N3055A, MJ15015 MJ2955A, MJ15016	$f_T$	0.8 2.2	6.0 18	MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 10\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )		$C_{ob}$	60	600	pF

**\*SWITCHING CHARACTERISTICS (2N3055A only)**

RESISTIVE LOAD					
Delay Time	$(V_{CC} = 30\text{ Vdc}$ , $I_C = 4.0\text{ A}$ , $I_{B1} = I_{B2} = 0.4\text{ A}$ , $t_p = 25\text{ }\mu\text{s}$ Duty Cycle $\leq 2\%$ )	$t_d$	—	0.5	$\mu\text{s}$
Rise Time		$t_r$	—	4.0	$\mu\text{s}$
Storage Time		$t_s$	—	3.0	$\mu\text{s}$
Fall Time		$t_f$	—	6.0	$\mu\text{s}$

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$ .

\* Indicates JEDEC Registered Data. (2N3055A)

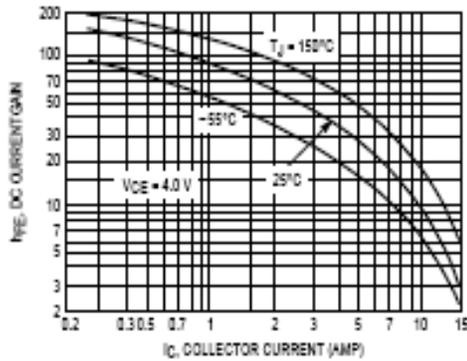


Figure 2. DC Current Gain

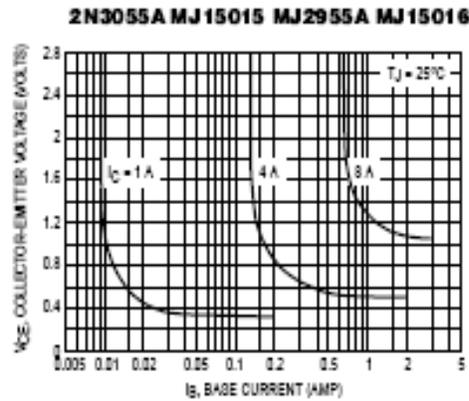


Figure 3. Collector Saturation Region

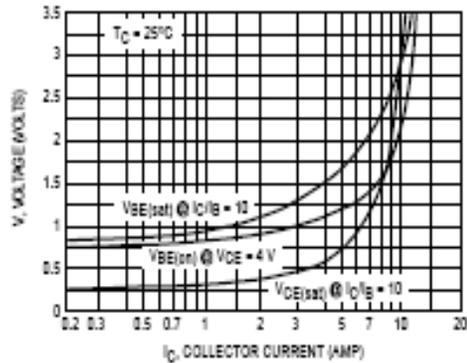


Figure 4. "On" Voltages

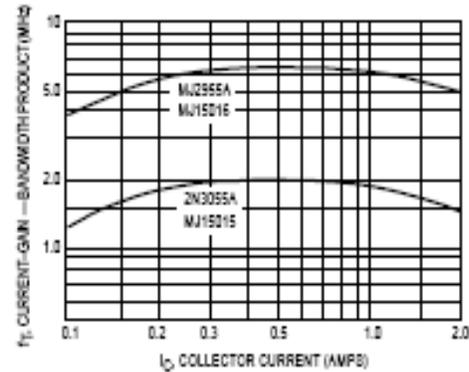


Figure 5. Current-Gain — Bandwidth Product

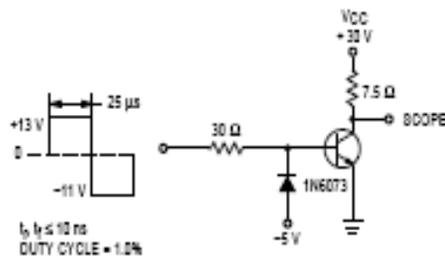


Figure 6. Switching Times Test Circuit  
(Circuit shown is for NPN)

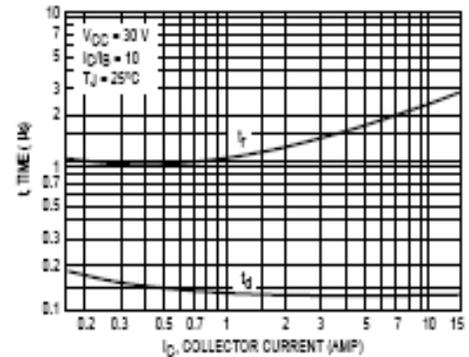


Figure 7. Turn-On Time

**2N3055A MJ15015 MJ2955A MJ15016**

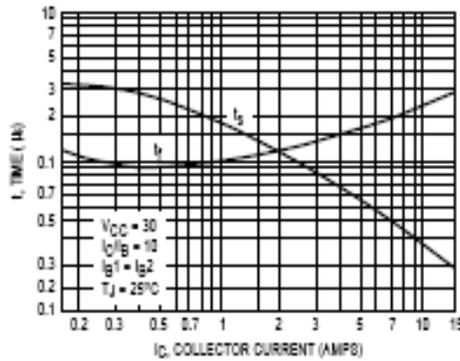


Figure 8. Turn-Off Times

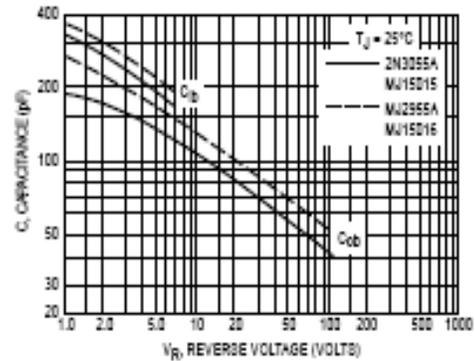


Figure 9. Capacitances

**COLLECTOR CUT-OFF REGION**

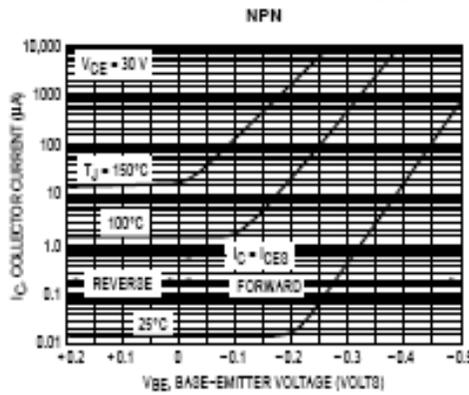


Figure 10. 2N3055A, MJ15015

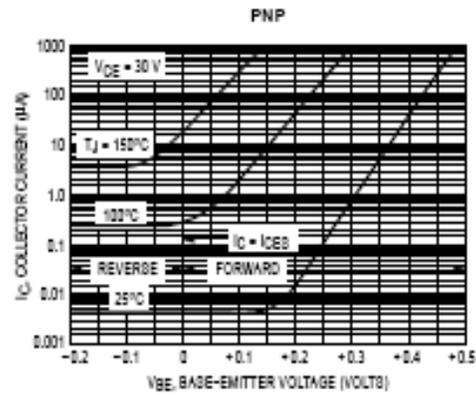


Figure 11. MJ2955A, MJ15016

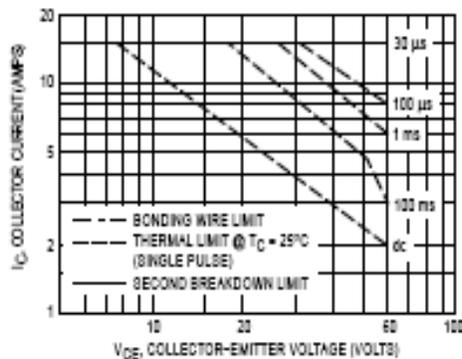


Figure 12. Forward Bias Safe Operating Area  
2N3055A, MJ2955A

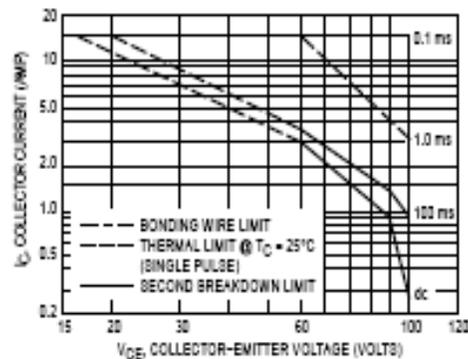


Figure 13. Forward Bias Safe Operating Area  
MJ15016, MJ15018

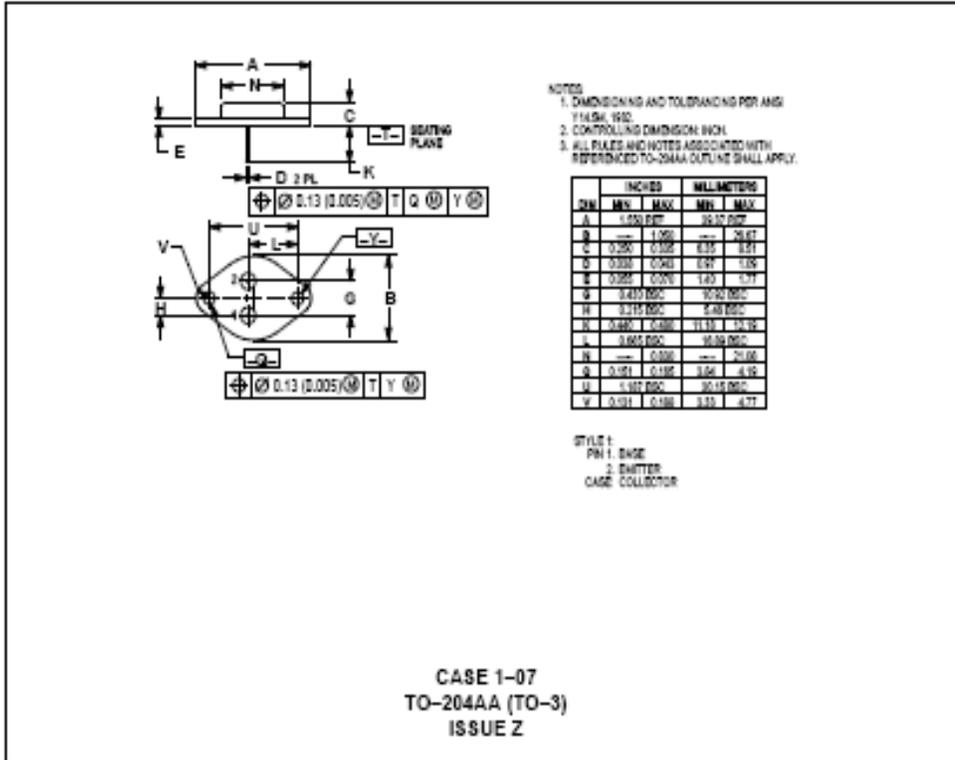
There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe Operating area curves indicate  $I_C - V_{CE}$  limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipa-

tion than the curves indicate.

The data of Figures 12 and 13 is based on  $T_C = 25^\circ\text{C}$ ;  $T_J(\text{pk})$  is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature according to Figure 1.

**2N3055A MJ15015 MJ2955A MJ15016**

**PACKAGE DIMENSIONS**



# Apéndice B

## Fotos del Calefactor



Figura B.1: Armazon del Calefactor

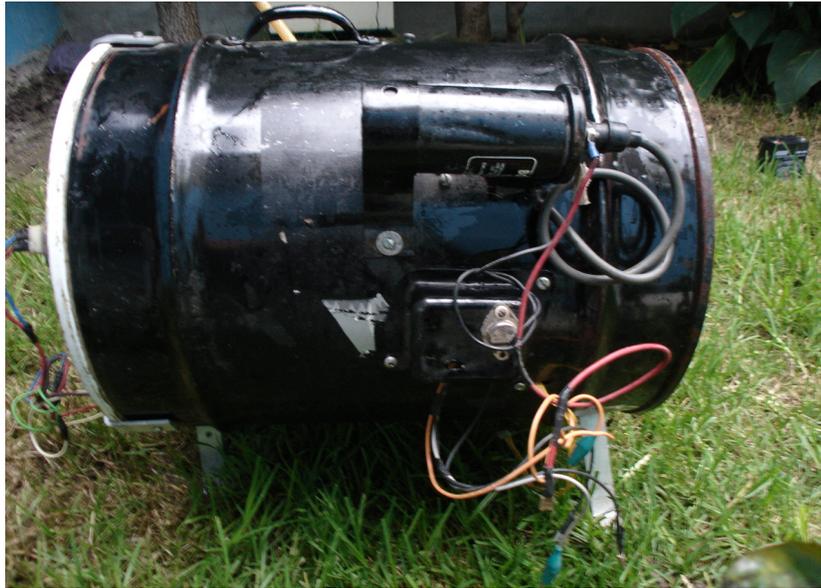


Figura B.2: Calefactor



Figura B.3: Ventilador, Sensor de Flama y Bujía

---



Figura B.4: Bobina

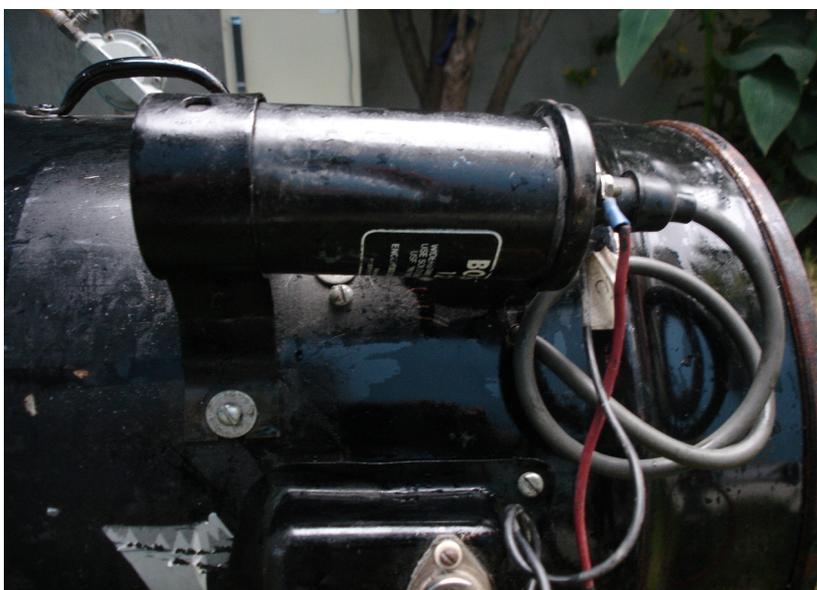


Figura B.5: Bobina

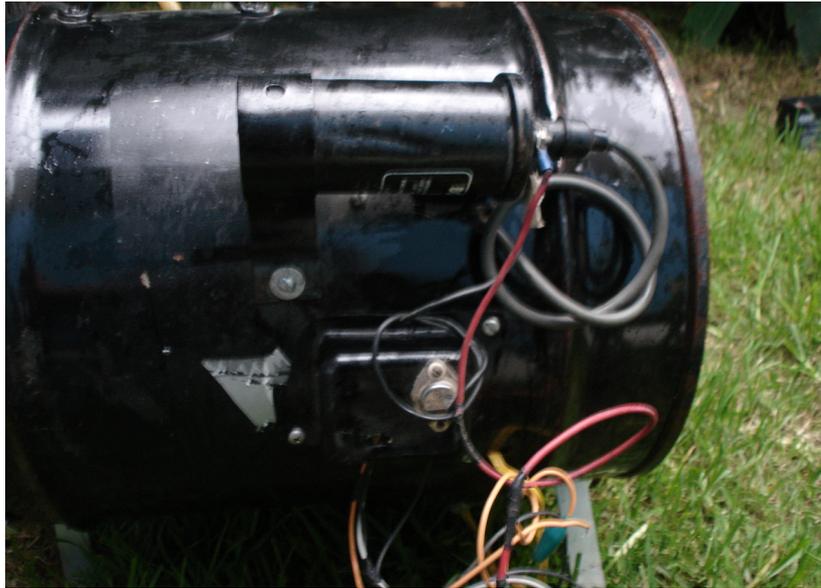


Figura B.6: Bobina y Circuito Generador de Chispa



Figura B.7: Bujía

---



Figura B.8: Bujía

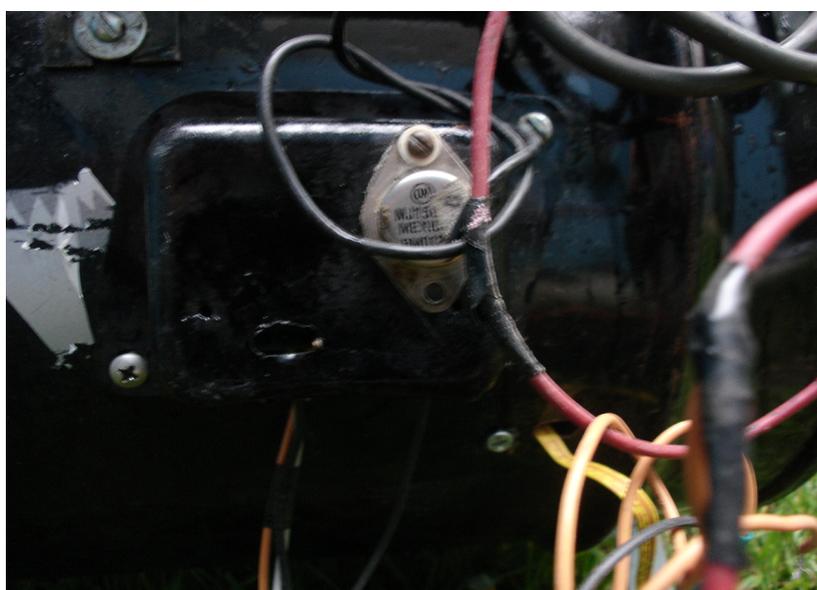


Figura B.9: Circuito Generador de Chispa



Figura B.10: Sensor de Flama



Figura B.11: Bateria

---