

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**CONTROL DE LUZ Y TEMPERATURA DE UN INVERNADERO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA**

**DIRECTOR: ING. NELSON SOTOMAYOR**

**Quito, Noviembre 2001**

## DECLARACIÓN

Yo, Geovanny Danilo Chávez García, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Geovanny Chávez García

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Geovanny Danilo Chávez García, bajo mi supervisión.



---

**Ing. Nelson Sotomayor**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a lo Alto por haberme dado la oportunidad de crecer y darme la luz en este tramo de mi vida. A mis padres por el apoyo, dedicación y ejemplo. A mis hermanos, compañeros y amigos por el cariño brindado. Al Ing. Nelson Sotomayor y al Fis. Juan Ortiz por su acertada dirección. Y en especial a la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL por haberme dotado de mejores herramientas para ser lo que soy.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mis Padres, a mi Novia, a mis Compañeros de Camino, a la Luz que guía mi caminar.

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b>	i
<b>RESUMEN</b>	iv
<b>PRESENTACIÓN</b>	vi
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>CONTROL DE INVERNADEROS</b>	1
1.1 Introducción	1
1.2 Técnicas de control del Ambiente de un Invernadero	2
1.2.1 Control de la Intensidad Luminosa	2
1.2.1.1 Técnicas de Iluminación	3
1.2.1.1.1 Iluminación Suplementaria	3
1.2.1.1.2 Iluminación Fotoperiódica	3
1.2.2 Control de la Temperatura	4
1.2.2.1 Calefacción Central por Agua Caliente	5
1.2.2.2 Calefacción por Aire Caliente	6
1.2.2.3 Calefacción por Resistencias y Parrillas Eléctricas	7
1.2.3 Control de Humedad	7
1.2.4 Sistemas de control de Humedad Temperatura	8
1.2.4.1 Riego	9
1.2.4.2 Balsetas de Agua	9
1.2.4.3 Riego por Aspersión	9
1.2.4.4 Refrigeración por Humectación	9
1.2.4.5 Nebulización	10
1.2.4.6 Ventilación	10
1.2.4.6.1 Ventilación Natural	10
1.2.4.6.2 Ventilación Forzada	11
1.2.4.6.3 Movimiento de aire interior	11
1.2.4.6.4 Disminución de intensidad luminosa	11
1.2.4.6.5 Refrigeración de la cubierta	12
1.2.4.6.6 Acolchado	12

## CAPITULO 2

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DE LUZ Y TEMPERATURA DE UN INVERNADERO 13

2.1 Adquisición de Datos	14
2.1.1 Temperatura	14
2.1.1.1 Fundamentos de termocuplas	14
2.1.1.2 Acondicionamiento de señal	17
2.2.1.2.1 Amplificador de Instrumentación	17
2.2.1.2.2 Amplificador Inversor	19
2.1.2 Iluminación	21
2.1.2.1 Acondicionamiento de Señal	22
2.1.2.2 Circuito de Acoplamiento	23
2.2 Algoritmo de Control	24
2.2.1 Control PI	25
2.2.2 Microcontrolador PIC	28
2.2.2.1 Generalidades	28
2.2.2.2 Circuito	30
2.3 Interfaz PC-PIC	31
2.4 Tarjeta de Control	33
2.5 Interfaz PIC-Acturadores	35
2.6 Software de Apoyo	38
2.6.1 Software del PIC	38
2.6.1.1 Inicialización	38
2.6.1.2 Adquisición de Datos	41
2.6.1.3 Procesamiento de Datos	43
2.6.1.4 Interrupciones	45
2.6.2 Interfaz con el Usuario	51
2.6.2.1 Introducción	51
2.6.2.2 Indicaciones Generales	52
2.6.2.3 Manejo del Sistema	53

## **CAPITULO 3**

<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	<b>64</b>
3.1 Tarjeta de Control	64
3.1.1 Acondicionamiento de Temperatura	64
3.1.2 Acondicionamiento de Iluminación	65
3.1.3 Controlador PI	66
3.1.4 Función Rampa Cosenoidal	66
3.1.5 Microcontrolador PIC	66
3.2 Prototipo completo	67

## **CAPITULO 4**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>



## RESUMEN

Existe en el país un gran desarrollo del cultivo en invernaderos; pero uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta este tipo de técnica es el control de su ambiente, que en nuestro país, en su mayor parte, es realizado en forma manual, lo que involucra mayores costos, se debería contratar un mayor personal, y en muchas ocasiones no se realizaría un control adecuado.

Estos problemas sugieren que el control sea realizado utilizando métodos automáticos basados en microcontroladores o PLCs, los cuales en base a la información proporcionada por los sensores externos pueden comandar a los actuadores y de esta manera realizar el control.

En el ambiente de un invernadero existen muchas variables importantes que deben ser monitoreadas y controladas. Este proyecto tiene como objetivo realizar el control de luz y temperatura de un invernadero, utilizando un microcontrolador, y la administración del mismo a través de un PC.

Para cumplir con este objetivo se adquirió los sensores adecuados para el control, se realizó los acondicionamientos para que la información de los mismos sea entendida por el microcontrolador, el cual realiza el control integral del sistema. Además se desarrolla una interfaz con el usuario en el cual se puede visualizar las variables a ser controladas y se puede ingresar parámetros de control.

El presente proyecto no es un esfuerzo aislado, sino más bien parte del proyecto *“Investigación y desarrollo de tecnologías para el control de parámetros físicos de cultivos bajo invernadero”*, que se desarrolla en el Departamento de Física de la Escuela Politécnica Nacional, cuyo objetivo general es la implementación de un prototipo de invernadero automatizado al interior de la E.P.N. para el control de parámetros físicos bajo invernadero y desarrollo de cultivos, con tecnologías no contaminantes.

## PRESENTACIÓN

Si bien es cierto que los invernaderos ayudan a producir un tipo de ambiente semitropical ideal para el cultivo de muchas variedades de plantas, este mismo hecho crea la necesidad del control del ambiente del mismo, tanto por problemas de un crecimiento de organismos nocivos para los cultivos, como la posibilidad de que se produzca un efecto de inversión térmica dentro del invernadero. En este proyecto se desarrollará un sistema de control basado en un microcontrolador cuya administración será a través de un PC, la parte escrita se presenta dividida en capítulos donde se desarrolla cada parte del sistema, se encuentra organizada de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se da una breve introducción acerca de control de invernaderos, y las formas de controlar el ambiente dentro de ellos, considerando las variables tomadas para el control en este proyecto, así como a variables muy importantes para el ambiente del invernadero, tales como la humedad y el nivel de CO<sub>2</sub>.

El diseño del acondicionamiento de las variables escogidas en el control, es decir la Luz y la Temperatura, así como el programa desarrollado para el control en el microcontrolador y la interfaz de usuario se presenta en el segundo capítulo.

En el tercer capítulo, se presentan las pruebas y resultados luego de la implementación del mencionado sistema de control.

El último capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

# CAPITULO 1

## CONTROL DE INVERNADEROS

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La principal diferencia de un cultivo al aire libre y uno en invernadero es el control ambiental que se da a las plantas para que alcancen un desarrollo óptimo. El cultivo en invernadero es un caso especial de cultivos protegidos, es decir aquellos cultivos en los cuales se modifican las condiciones ambientales en alguna de las etapas del ciclo productivo.

Un invernadero es un recinto cerrado, con una estructura de madera o metal, cubierta por un material transparente, en cuyo interior se desarrolla un cultivo en condiciones controladas. Algunas de las ventajas de la utilización de invernaderos son por ejemplo el ahorro del agua utilizada en el riego, la cual puede reducirse hasta en un 50 %, comparada con la utilizada con el cultivo al aire libre, se puede aumentar el rendimiento de 3 a 5 veces, además del control de las enfermedades y plagas que pudieran desarrollarse en los cultivos.

Los invernaderos se pueden clasificar tomando en cuenta los niveles de temperatura mínima a los cuales deben operar [1], así se tiene:

- **Invernaderos fríos:** Aquellos cuya temperatura está entre 5 y 8 °C.
- **Invernaderos templados:** Aquellos cuya temperatura mínima está entre 10 y 14°C.
- **Invernaderos calientes:** Aquellos cuyo nivel mínimos está entre 16 y 20°C

Los objetivos que se persiguen con el cultivo en invernadero se resumen en los siguientes puntos:

- Proteger el cultivo contra las adversidades climáticas.

- Cultivar cuando las condiciones climáticas en el exterior no son suficientes para un desarrollo adecuado.
- Prolongar la producción si la temperatura empieza a descender.
- Aumentar el volumen de producción.
- Mejorar la calidad de las cosechas.

En la siguiente sección se presentan diferentes técnicas para el control ambiental de un invernadero.

## 1.2 TÉCNICAS DE CONTROL DEL AMBIENTE DE UN INVERNADERO

Para controlar el ambiente de un invernadero, es necesario tener en cuenta determinados parámetros que son muy importantes para el desarrollo de un cultivo, tales como:

- Temperatura Interior y Exterior
- Humedad
- Intensidad Luminosa
- Concentración del Anhídrido Carbónico
- Velocidad e intensidad del viento
- Orientación del invernadero respecto al sol.
- Etc.

En el presente proyecto, se realizará el control de temperatura interior y el de intensidad luminosa.

### 1.2.1 CONTROL DE LA INTENSIDAD LUMINOSA [2]

Es realmente difícil suplir, a través de iluminación artificial, las necesidades de luz durante todo el ciclo de cultivo de una planta, además no es rentable en la

mayoría de los casos. Por lo tanto este tipo de iluminación se utiliza en determinados ciclos de la planta, como puede ser la floración o pigmentación de hojas y flores.

A continuación se presentarán las principales técnicas de iluminación que se utilizan en invernaderos para modificar la respuesta natural de las plantas.

### **1.2.1.1 Técnicas de Iluminación**

#### *1.2.1.1.1 Iluminación Suplementaria*

Al aumentar la intensidad luminosa, se pretende un mayor asimilamiento fotosintético de las plantas en horas de menor intensidad luminosa, es decir se trata de tener un nivel de intensidad luminosa estable durante la mayor parte del día para lo cual es necesario una potencia eléctrica de 100 a 300 watios por metro cuadrado de superficie de cultivo iluminado, debido a que la necesaria para que la planta pueda realizar la función fotosintética con normalidad es de 500 – 1000 watios por metro cuadrado.

Este aumento artificial de intensidad luminosa durante el día resulta caro y no rentable en la mayoría de cultivos. Solo es utilizado en plantas ornamentales o semilleros.

#### *1.2.1.1.2 Iluminación Fotoperiódica*

Este tipo de iluminación es utilizado cuando no existe luz natural En este caso, se puede tener un interés económico, ya que se requiere luz de poca intensidad luminosa.

Sobre el fotoperiodismo se puede influir prolongando la luz del amanecer o después de la puesta del sol. Para esto es necesario una potencia eléctrica de 10 a 15 watios útiles por metro cuadrado de invernadero. Además se puede actuar

también sobre el fotoperiodismo, dando horas de luz en la mitad de la noche, igualmente luz de poca intensidad.

La potencia eléctrica por metro cuadrado es una medida empírica, que se la obtiene tomando en cuenta que la iluminación incandescente genera  $3 \text{ W/m}^2$ , y que esta depende del porcentaje de luz visible emitido.

El primer método es utilizado para inducir la floración en plantas de día largo, por ejemplo. En cambio, con la segunda técnica se puede inhibir la floración en plantas de día corto. Con ello se incrementa el crecimiento vegetativo, por lo que se puede utilizar por ejemplo para evitar la caída de las hojas en arbustos ornamentales de hoja caduca.

Para escoger el tipo de lámpara a utilizarse se tomará en cuenta que su espectro de emisión sea lo más parecido posible a la luz solar. Dentro de las características técnicas a tomarse en cuenta serán las siguientes:

- Distribución espectral de la luz emitida.
- El costo de instalación y de mantenimiento.
- La potencia exigida
- El rendimiento de la lámpara.

Además se puede disminuir o anular las horas de luz en el día utilizando pantallas opacas para evitar la iluminación del cultivo.

### 1.2.2 CONTROL DE LA TEMPERATURA [1]

El control de la temperatura de los invernaderos es muy importante, tanto para proteger a los cultivos de daños por descensos de temperatura, como para dar condiciones óptimas para su desarrollo.



Existen fórmulas simplificadas para calcular el calor en que se debe aportar al invernadero. Una fórmula aceptada por muchos autores [3] se basa en que todas las pérdidas se reúnen en una expresión del tipo:

$$Q = K * S(T_i - T_e) \quad 1.1$$

Donde:

Q = Cantidad de kilocalorías necesarias por hora

K = Es una constante que depende del material utilizado como cubierta

S = Superficie total en m<sup>2</sup> de paredes y cubiertas

T<sub>i</sub>-T<sub>e</sub> = Es el salto térmico, siendo T<sub>i</sub> la temperatura mínima al interior del invernadero que se desea obtener, y T<sub>e</sub>, la temperatura mínima exterior más baja del año

La temperatura de un invernadero depende por tanto del material que se haya empleado como cubierta, de la temperatura exterior, de la intensidad luminosa y de los vientos exteriores(que también influyen en la temperatura exterior).

La aportación de calor artificial en la atmósfera del invernadero se la puede realizar de diferentes formas, las que se pueden dividir en:

- Sistemas de calefacción por aire caliente
- Sistemas de calefacción por agua caliente
- Sistemas de calefacción eléctricos

#### 1.2.2.1 Calefacción Central por Agua Caliente

La circulación de agua caliente en el interior del invernadero, es uno de los métodos más utilizados. El agua toma calor a su paso por una central térmica, que generalmente es un caldero, y luego lo reparte durante su recorrido por el invernadero.

Estos sistemas son generalmente de circulación forzada, es decir con la utilización de bombas, con lo cual se puede controlar la cantidad de agua que circula, y con ello la cantidad de calor cedido.

Las ventajas de este tipo de calefacción son:

- Es un sistema sencillo
- No reseca el ambiente
- Bajo costo de mantenimiento
- El sistema tiene inercia térmica

Las desventajas que presenta es su costo de instalación alto, además de que tarda mucho tiempo en alcanzar un nivel de temperatura cuando empieza su funcionamiento.

#### **1.2.2.2 Calefacción por Aire Caliente**

Consiste en hacer pasar aire a través de un foco de calor, y luego impulsarlo dentro del invernadero.

El generador de aire caliente puede colocarse tanto dentro como fuera del invernadero, y debe ser conducido por medio de ventiladores.

Este sistema presenta algunas ventajas:

- Costo de instalación bajo respecto al sistema de calefacción por agua caliente.
- El movimiento de aire elimina condensaciones que se puedan producir en los materiales de la cubierta.
- Pueden alcanzar rápidamente un nivel de temperatura.

Como desventajas presentan:

- Incrementan pérdidas de calor
- Poseen una escasa inercia térmica
- Costo de funcionamiento mayor al de agua caliente.
- No se tiene uniformidad en la distribución del calor.

### **1.2.2.3 Calefacción por Resistencias y Parrillas Eléctricas**

Los sistemas de calefacción por electricidad, generalmente no se utilizan en los invernaderos para controlar la temperatura ambiental debido a su costo de operación mayor, pero es utilizada al controlar la temperatura del suelo, por la facilidad que presentan estos métodos para la automatización.

El calor que producen estas resistencias eléctricas calienta el suelo que las rodea. Para lo cual se utilizará un sistema de control on-off. El suelo caliente aumenta la inercia térmica del invernadero, por tanto, si hay una avería en el control de temperatura del ambiente, la temperatura se mantiene en el valor deseado durante algunas horas.

### **1.2.3 CONTROL DE HUMEDAD [3]**

La humedad del ambiente depende del agua que contenga el suelo y de la humedad exterior; así como también de la temperatura.

Para corregir los defectos de la humedad se emplean los siguientes medios:

Manteniendo humedad en el suelo:

- o Riegos
- o Basetas de Agua

- Riego por aspersión

Enriqueciendo de agua el ambiente:

- "Cooling-system"
- "Mist – system"
- Pulverizadores

Disminuyendo la Temperatura:

- Ventilando
- Removiendo el aire
- Restando luminosidad.

Para controlar los excesos de humedad, se puede utilizar los siguientes medios:

- Forzando la entrada al aire seco del exterior.
- Evitando exceso de humedad en el suelo con riegos y acolchado; el acolchado es una técnica mediante la cual se protege al cultivo de la pérdida de humedad recubriéndolo con láminas plásticas dejando el espacio suficiente para el crecimiento de la planta.
- Aumentando la temperatura mediante calefacción.

#### **1.2.4 SISTEMAS DE CONTROL DE HUMEDAD Y TEMPERATURA**

Como se vio en los puntos anteriores, la humedad y la temperatura se encuentran íntimamente relacionadas, a continuación se detallan algunas técnicas que se utilizan para controlar las dos variables mencionadas.

#### **1.2.4.1 Riego**

La evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas, son las principales causas del aumento de humedad del ambiente de un invernadero, si la humedad exterior es baja. Por lo que los riegos podrían aumentar la humedad del ambiente, pero éstos solo se deben realizar cuando necesite el cultivo.

#### **1.2.4.2 Balsetas de Agua**

Se utilizan cuando no existe gran cantidad de superficie del suelo para evaporar agua, se colocan en lugares estratégicos las balsetas (hoyos) llenas de agua.

#### **1.2.4.3 Riego por aspersión**

Se utiliza para cultivos que necesitan una humedad alta, por lo que se combina el riego manual con riego por aspersión. Generalmente se lo realiza cuando el invernadero presenta más bajo nivel de humedad, es decir a medio día.

#### **1.2.4.4 Refrigeración por Humectación**

Tiene como objetivo principal disminuir la temperatura, basado en la propiedad física que para evaporar determinada cantidad de agua, se necesita tomar calor. Se puede hacer pasar forzadamente una corriente de aire del exterior a través de una superficie humedecida constantemente, este aire se enfría y se impregna de humedad.

Este sistema es conocido como "cooling-system", da mejores resultados cuando el invernadero está herméticamente cerrado. Otro factor que afecta es la humedad del aire exterior, que debe ser siempre inferior a 50%, pues cuando la humedad es más elevada disminuyen los efectos.

El mantenimiento del sistema es costoso, por lo que se aconseja en cultivos de alto rendimiento económico. Es usado generalmente para controlar altas temperaturas, antes que para la humedad.

#### **1.2.4.5 Nebulización**

Este sistema consiste en crear artificialmente una niebla en el invernadero. Se lo utiliza en la multiplicación de plantas mediante embriones. Con ello se mantiene una humedad relativa alta a nivel de los esquejes (tallos que se introducen en tierra para multiplicar la planta) que están enraizando, con lo que estos pueden transpirar sin necesidad de absorber agua del suelo; además, se humedece el sustrato donde deben enraizar los embriones y, también, se disminuye la temperatura al nivel de las plantas.

El sistema consiste en la instalación de tuberías que conduce agua a presión a los nebulizadores, que son los que dispersan el agua en gotas muy finas y lo nebulizan sobre las plantas que están enraizando.

#### **1.2.4.6 Ventilación**

Se refiere a la renovación del aire al interior del invernadero, esa renovación afecta tanto la temperatura, humedad, anhídrido carbónico y al oxígeno en el interior, se la puede realizar en forma natural o forzada.

##### *1.2.4.6.1 Ventilación Natural*

Es la más utilizada, basada en que el aire caliente pesa menos y tiende a elevarse, por lo que en algunos casos se ventila solo con ventanas colocadas en paredes laterales, otros con ventanas cenitales (colocadas en el techo).

La superficie de las ventanas es función de las dimensiones del invernadero, y del tipo de ventana sea cenital o lateral. Este tipo de ventilación puede alcanzar una disminución de 2 o 3 grados centígrados, mediante el movimiento del aire interior del invernadero.

#### *1.2.4.6.2 Ventilación Forzada*

Los sistemas más utilizados son la renovación forzada de aire y la refrigeración por humectación.

La renovación forzada consiste en establecer una corriente de aire mediante ventiladores-extractores, en la que se extrae aire caliente del invernadero y el volumen extraído es ocupado inmediatamente por aire de la atmósfera exterior.

#### *1.2.4.6.3 Movimiento de aire interior*

Este sistema consiste en poner en movimiento el aire interior del invernadero mediante ventiladores. Este movimiento de aire, homogeniza la temperatura en todo el volumen del invernadero, aumenta la evaporación del agua del suelo y la transpiración, por lo que aumenta la humedad del ambiente y disminuye su temperatura.

#### *1.2.4.6.4 Disminución de intensidad luminosa*

Si se disminuye la luminosidad, se baja la temperatura, y si permanece constante la cantidad de agua evaporada en el interior del invernadero, aumenta la humedad relativa, por lo que se puede utilizar un control en la intensidad luminosa para modificar la humedad y la temperatura del interior del invernadero.

#### *1.2.4.6.5 Refrigeración de la cubierta:*

Se puede disminuir la temperatura, haciendo circular una cortina de agua sobre la cubierta, si además esta cubierta se tiñe con un colorante disminuye también la intensidad en el interior del invernadero.

Para producir esta cortina de agua generalmente se utiliza una bomba que impulsa el agua por medio de una serie de canales que se encuentran ubicados en el vértice superior de la estructura del invernadero.

#### *1.2.4.6.6 Acolchado*

Cuando la humedad es excesiva y no se puede ventilar puede corregirse el exceso, mediante el acolchado del suelo con plástico, este acolchado disminuye la evaporación del agua del suelo y provoca una disminución en la necesidad de riego.



## CAPITULO 2

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL DE LUZ Y TEMPERATURA DE UN INVERNADERO

Para realizar el control de un sistema, es necesario determinar las variables que más afectan al sistema, así como el tipo de control o controlador que debe utilizarse para mantener las mismas en los niveles adecuados para que la respuesta del sistema sea lo más cercana posible a las expectativas.

Dentro del controlador, es necesario adquirir los valores de las variables a controlar, etapa que se denominará en el presente proyecto como Adquisición de Datos, el procesamiento de las mismas a través de algoritmos de control, y las acciones de control sobre los actuadores de la planta.

Se desarrolla un prototipo para controlar variables importantes de un invernadero: la temperatura y la intensidad luminosa; para esto se realizan acondicionamientos de señal de los sensores escogidos, para que sean leídos por un microcontrolador, el cual se encarga de la lógica del control, activando los actuadores de acuerdo a la lógica del sistema.

A continuación se expondrá las diferentes etapas de las cuales está compuesto este prototipo de control.

## 2.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

### 2.1.1 TEMPERATURA

La temperatura se relaciona con la energía cinética de las moléculas, y se puede definir como la condición de un cuerpo que determina la transferencia de calor desde o hacia otros cuerpos.

Los instrumentos que miden temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- a) variaciones en el estado de los cuerpos
- b) variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- c) variación de resistencia de un semiconductor (termistores)
- d) f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termocuplas)
- e) intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación) [ 4 ]

En el presente proyecto, se escogió como sensor de temperatura, una termocupla tipo J, debido a las ventajas que presenta este elemento en su utilización, la gran cantidad de aplicaciones industriales y lo económicas que resultan frente a otro tipo de sensores industriales. A continuación se presenta algunos fundamentos básicos del funcionamiento de las termocuplas.

#### 2.1.1.1 Fundamentos de termocuplas [5]

Las termocuplas son constituidas por dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al variar la temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts en los terminales de la misma.

Las termocuplas para generar el voltaje en los terminales, se basan en tres principios físicos:

a.- **Efecto Seebeck:** al unir dos cables de materiales diferentes formando un circuito, se presenta una corriente eléctrica cuando las juntas se encuentran a diferente temperatura.

b.- **Efecto Peltier:** consiste en que cuando una corriente eléctrica fluye a través de una junta de dos metales diferentes, se libera o absorbe calor. Cuando la corriente eléctrica fluye en la misma dirección que la corriente Seebeck, el calor es absorbido en la junta caliente y liberado en la junta fría.

c.- **Efecto Thomson:** un gradiente de temperatura en un conductor metálico está acompañado por un gradiente de voltaje, cuya magnitud y dirección depende del metal que se esté utilizando.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen totalmente encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla 2.1 aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K. Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio). La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero). Finalmente las termocuplas tipo T son usadas desde hace

algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100( un PT100, es un termistor de platino, cuya resistencia a 0°C, es igual a 100Ω).

Tabla 2.1 - Características principales de las termocuplas industriales

					Límite de error	
Tipo ANSI/ISA	Combinación de metales	Códigos de los termoelementos	Composición química	Rango de temperatura	Standard	Especial
<b>Termocuplas metálicas</b>						
J	Fierro/ constantan	JP	Fe	-73°C a 427°C	±2,2°C	±1,1°C
		JN	44 Ni:55 Cu	427°C a 760°C	(± ¼ %)	(±1/3%)
K	Cromel/ Alumel	KP	90 Ni:9 Cr	0°C a 277°C	±2,2°C	±1,1°C
		KN	94 Ni:A1:Mn:Fe	277°C a 1149°C -101°C a -60°C	(±¼ %) ±1.7°C	(±3/8 %) (±1%)
T	Cobre/ constantan	TP	Cu	-75°C a 93°C	±0,8°C	(±¼ %)
		TN	44 Ni:55 Cu	99°C a 371°C	(±¼ %)	(±3/8 %)
E	Cromel/ constantan	EP	90 Ni:9 Cr	0°C a 316°C	±1,7°C	±1,1°C
		EN	44 Ni:55 Cu	316°C a 671°C	(±1/2 %)	(±3/6 %)
N	Nicrosil/ Nisil	NP	Ni:14.2 Cr:1.4Si	0°C a 277°C	±2,2°C	-
		NN	Ni:4Si:0.15Mg	277°C a 1149°C	(±3/4 %)	-
<b>Termocuplas de metales preciosos</b>						
R	Platino-rodio/ platino	RP	87Pt:13Rh	Disponibile hasta 1480°C	Depende del proveedor	
		RN	Pt			
S	Platino-rodio/ platino	SP	90Pt:10Rh	-19°C a 538°C	±1,4°C	
		SN	Pt	538°C a 149°C	(±1/4 %)	
B	Platino-rodio/ Platino-rodio	BP	70Pt:30Rh	Disponibile hasta 1700°C	Depende del proveedor	
		BN	94Pt:6Rh			

### 2.2.1.2 Acondicionamiento de señal

La termocupla tipo J, genera un voltaje en el orden de los milivoltios, por este motivo el acondicionamiento se ha dividido en varias etapas, la primera, un amplificador de instrumentación lineal, para eliminar ruido debido a su alto rechazo en modo común y otra etapa de amplificación, que cumple la función de acondicionamiento de la señal a un rango normalizado de 0 a 5 V, que será recibida por el microcontrolador.



Fig.2.1 Acondicionamiento de Temperatura

El voltaje generado por la termocupla tipo J a 40 °C, la que es tomada como la temperatura máxima, es 2.58 mV, por lo cual la ganancia total viene dada por:

$$G_t = \frac{5V}{2.58mV} = 1937.9844 \quad \text{Ec. 2.1}$$

#### 2.2.1.2.1 Amplificador de Instrumentación

El amplificador de instrumentación con entrada diferencial y salida única es uno de los amplificadores más versátiles y más utilizados en el procesamiento de

señales, ya que presenta una alta RRMCC (Relación de Rechazo a Modo Común) al utilizarse en combinación con circuitos integrados, además su costo es bajo y los elementos son de fácil adquisición en el mercado. Por estas razones se eligió el amplificador de instrumentación implementado con elementos discretos.

A continuación se presenta el circuito implementado:

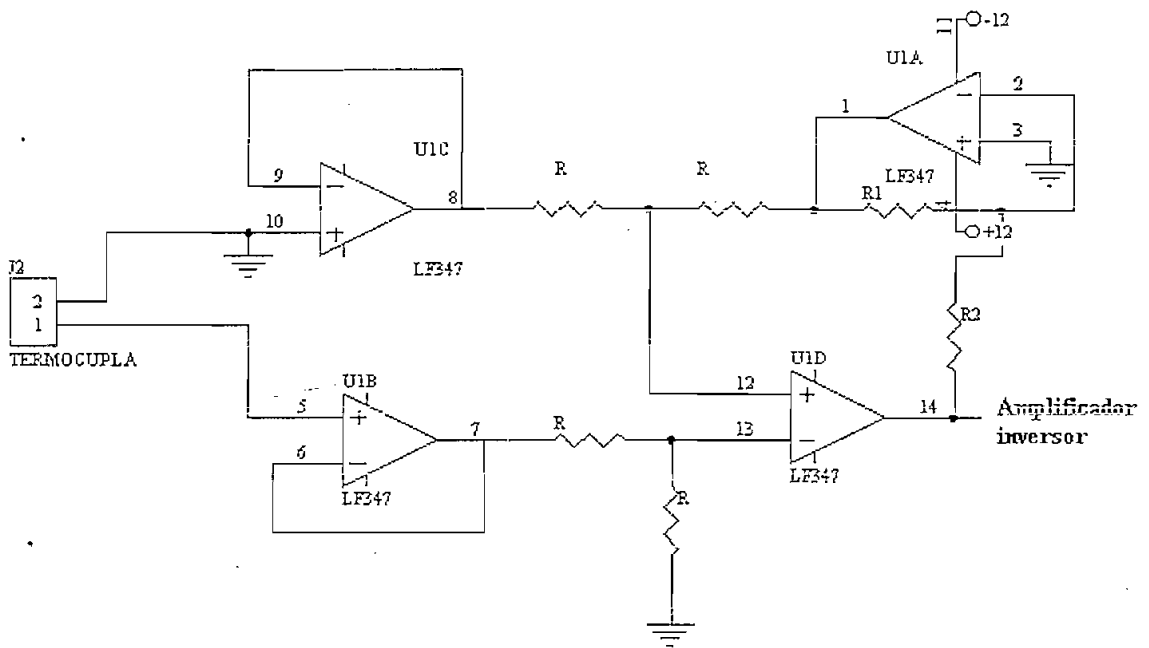


Fig. 2.2 Amplificador de Instrumentación

El circuito es un amplificador de instrumentación lineal, cuya ganancia viene dada por la relación:

$$G_{AI} = -\frac{R2}{R1} (V_{in})$$

Ec. 2.2

Siendo  $V_{in}$ , el voltaje generado por la termocupla.

Para  $R_2 = 100 \text{ k}$  y  $R_1 = 1.2\text{k}$ , se obtiene una ganancia  $G_{AI} = 83.33$ , la misma relación es la utilizada en el diseño.

#### 2.2.1.2.2 Amplificador Inversor

Se utiliza un amplificador inversor para completar la ganancia requerida para normalizar la salida de voltaje, es decir tener una salida de 0 a 5 V. en un rango de temperatura de 0 a 40 °C.

La ganancia total viene dada por la relación:

$$G_t = G_{AI} * G_{INV} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Por tanto,

$$G_{INV} = 23.3558 \quad \text{Ec. 2.4}$$

A continuación se presenta el circuito implementado

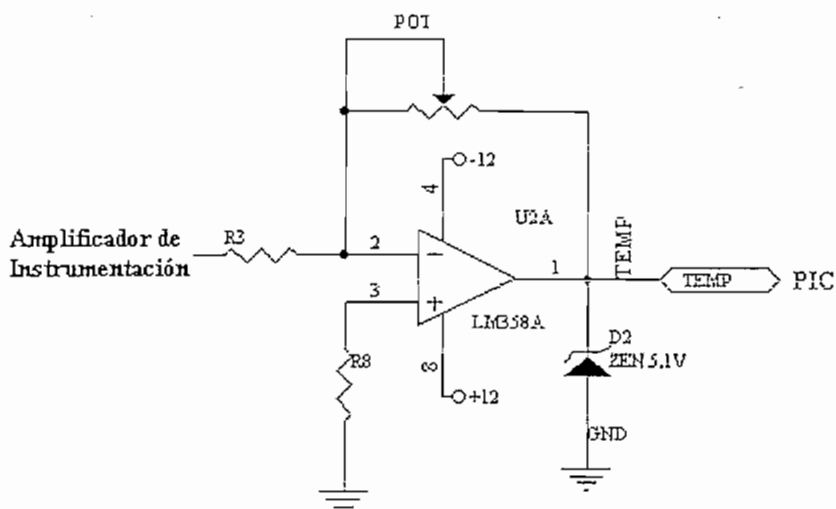


Fig. 2.3 Amplificador Inversor

En el circuito anterior, la ganancia viene dada por la relación:

$$G_{INV} = -\frac{POT}{R3} * V_i \quad \text{Ec. 2.5}$$

Siendo  $V_i$ , el voltaje de entrada, en este caso el voltaje recibido desde el amplificador de instrumentación.

En el diseño se supone un potenciómetro POT de 1 M $\Omega$ , y una resistencia R3 de 10k $\Omega$ ; por lo que se logra una resistencia variable de un máximo de 100, la misma que cumple las especificaciones de diseño.

La salida de este amplificador, será directamente acoplada al microcontrolador, por lo que como medida de protección para el mismo se incluye un diodo zener de 5.1 V, para evitar que el voltaje sea superior al aceptado por el microcontrolador.



### 2.1.2 ILUMINACIÓN

La luz es un fenómeno físico de naturaleza energética. En materiales sólidos, líquidos y gaseosos considerados transparentes a la luz, la propagación de ésta se da bajo la forma de radiaciones. Según la teoría ondulatoria de la luz, las radiaciones son ondas electromagnéticas, es decir ciclos conectados y alternados de campos eléctricos y magnéticos, generados por rapidísimas oscilaciones de cargas eléctricas de intensidad variable, regidas por leyes sinusoidales y perpendiculares a la dirección en la que se mueve la radiación [6].

La Fotometría es la rama de la óptica que trata la medición de las intensidades de las fuentes de luz y la iluminación de las superficies (la intensidad varía según la distancia de la fuente emisora).

Los elementos fotodetectores pueden dividirse en dos categorías[7]:

1. Detectores térmicos, en que la radiación es absorbida y transformada en calor, con lo que el detector responde al cambio de temperatura.
2. Detectores cuánticos, que responden directamente a los fotones que inciden sobre su superficie.

El sensor escogido es una fotorresistencia también llamada LDR (light dependent resistor), tiene la capacidad de variar su resistencia acorde a la cantidad de luz que inciden sobre ellos.

La respuesta de este sensor no es lineal, a pesar de lo cual el circuito de acondicionamiento escogido es relativamente simple. A continuación, se presenta el diagrama del mismo.

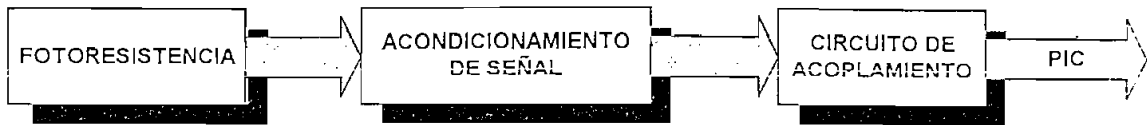


Fig. 2.4 Acondicionamiento de la iluminación

Las ventajas que tienen este tipo de sensores (LDR's) son las siguientes:

- o Alta sensibilidad.
- o Fácil empleo
- o Bajo costo
- o No hay potencial de unión
- o Alta relación resistencia luz – oscuridad

#### 2.1.2.1 Acondicionamiento de Señal

Debido a que el elemento escogido como sensor de la intensidad luminosa, no tiene una respuesta lineal, se puede utilizar como circuito de acondicionamiento un divisor de tensión, y un amplificador sumador, para obtener los niveles de voltaje requeridos por el microcontrolador.

A continuación se presenta el circuito implementado:

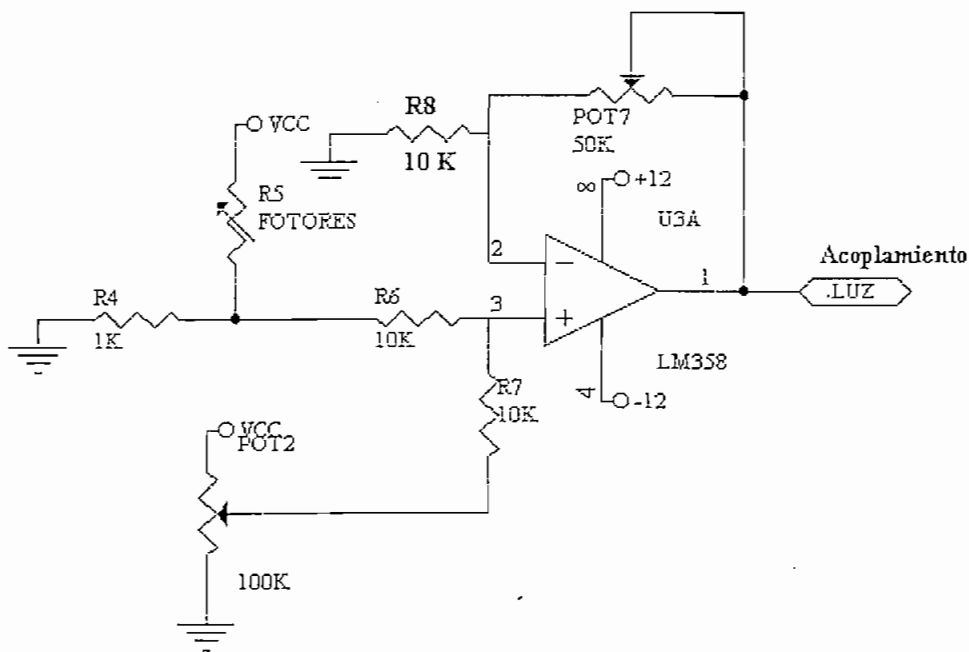


Fig. 2.5 Acondicionamiento de la iluminación

En el circuito, la función del potenciómetro POT7, es el encargado de dar la ganancia al circuito, con lo que se regula el rango superior de la medida, esta señal, va directamente a un circuito de acoplamiento para luego ir al microcontrolador, para ser procesada. El circuito anteriormente descrito no es el más aconsejado, porque la respuesta no es lineal, pero es suficiente para el nivel de precisión que se necesita en el sistema.

### 2.1.2.2 Circuito de Acoplamiento

El circuito de acoplamiento que se presenta a continuación, consta de un amplificador no inversor, y de un capacitor que cumple la función de un filtro.

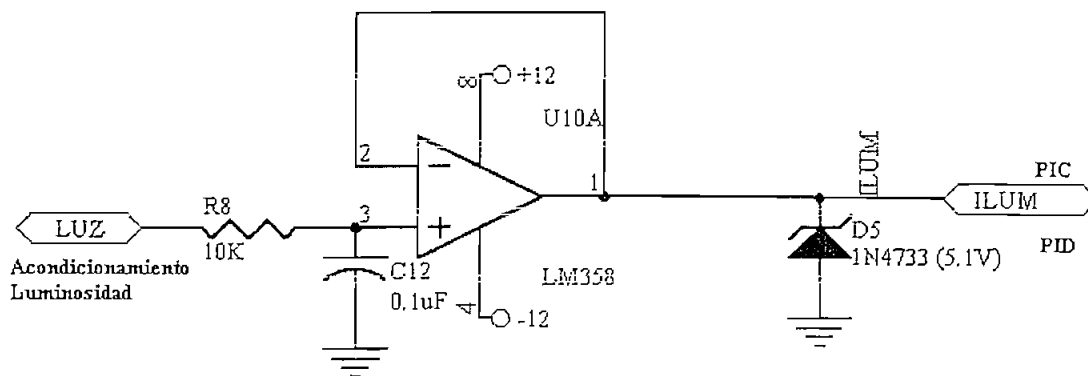


Fig. 2.6 Circuito de Acoplamiento

## 2.2 ALGORITMO DE CONTROL

El control de las variables mencionadas en este proyecto se lo realiza con un microcontrolador PIC. Además se realiza un control Administrador, desde un PC.

A la temperatura se la controla utilizando un control ON – OFF, el mismo que es regulado por el microcontrolador PIC, los límites están registrados en una localidad de memoria del mismo. El control de la intensidad luminosa, se lo realiza mediante dos métodos diferentes: el primero, cuyo elemento final de control es una lámpara fluorescente, es un control ON-OFF en tiempo real. El segundo, cuyo elemento final de control es una lámpara incandescente, se utiliza un compensador PI, para realizar un control de fase y controlar el nivel de intensidad luminosa.

### 2.2.1 CONTROL PI

El compensador PI implementado, para controlar el nivel de iluminación del invernadero, es de tipo analógico, se descartó la posibilidad de realizar este

compensador con el microcontrolador debido a que esta función hubiera podido distraerlo de su función principal.

El circuito implementado se presenta a continuación:

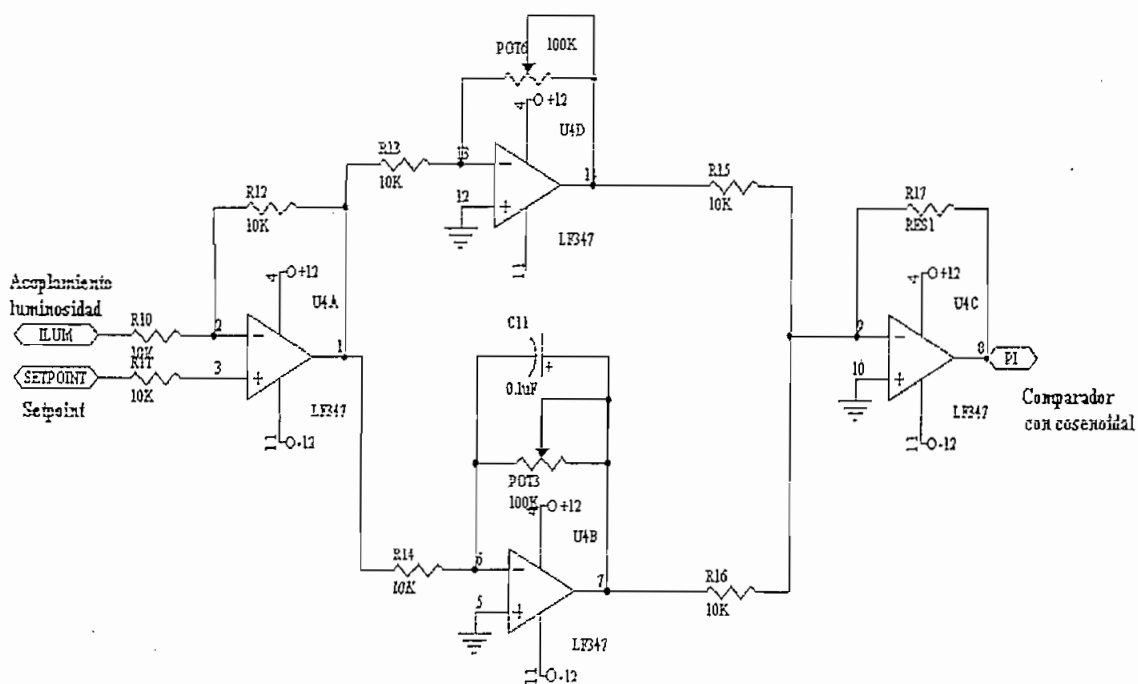


Fig. 2.7 Controlador PI

El controlador consta de un amplificador diferencial de ganancia unitaria, el cual es el encargado de encontrar el error entre el set point (referencia), y el valor real de la iluminación. A continuación, se ubican dos amplificadores en paralelo; el primero, un amplificador inversor, que es para proporcionar una ganancia proporcional ( $k_p$ ) y que en el circuito es modificada por el potenciómetro POT6. El otro amplificador, es un integrador, y es el encargado de proporcionar la ganancia integral ( $k_i$ ), y puede ser modificada a través del potenciómetro POT3.

Luego de estas etapas la señal pasa por un amplificador inversor de ganancia unitaria, para que la respuesta sea una señal positiva entre 0 y 5 voltios.

El control a implementarse es un control de fase, con el cual se logra modificar la intensidad luminosa. Para que este tipo de control sea linealmente proporcional con la señal de referencia se necesita comparar la misma con una señal cosenoidal.

En la figura 2.9 se presenta el circuito generador de la onda cosenoidal utilizado en este proyecto.

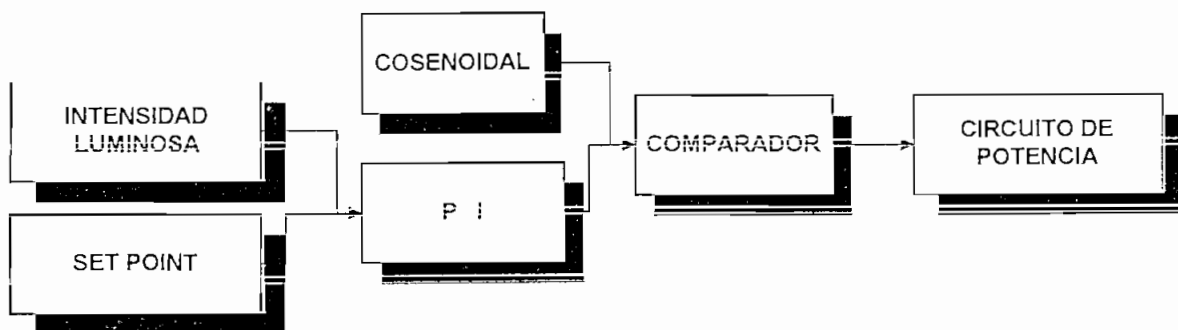


Fig. 2.8 Control de Iluminación ( Lámpara Incandescente)

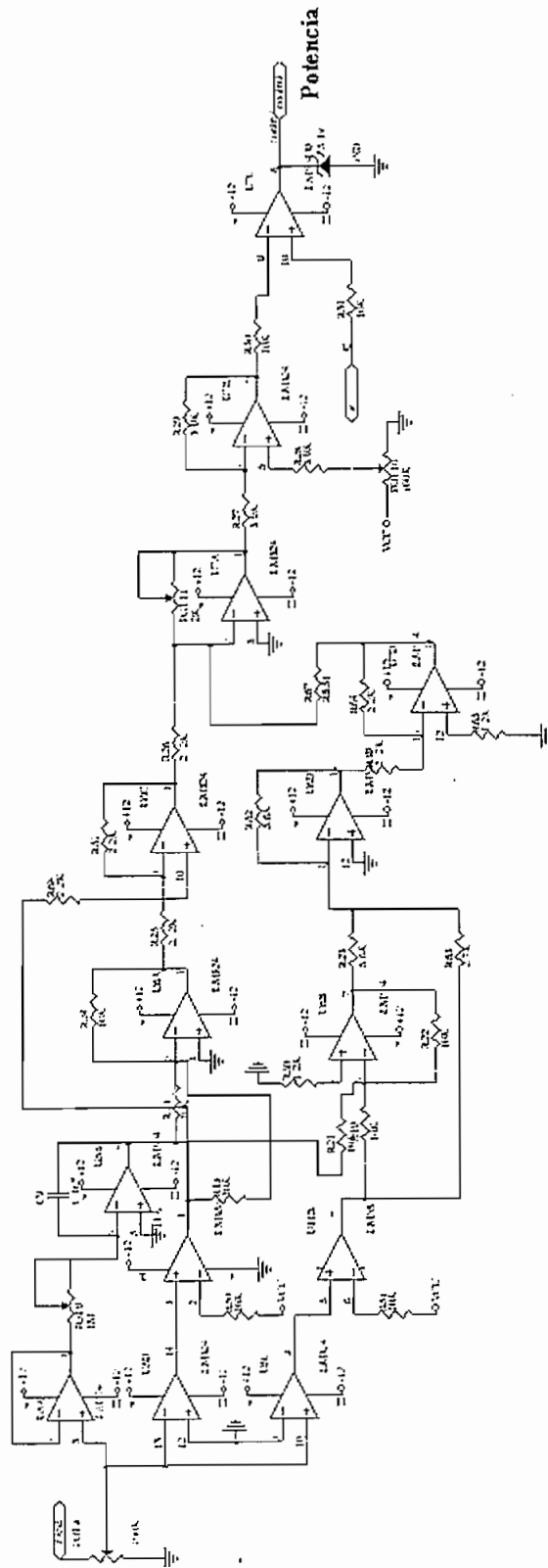


Fig. 2.9 Generador de Onda Cosenoidal

## 2.2.2 MICROCONTROLADOR PIC

### 2.2.2.1 Generalidades

En 1980 aproximadamente, los fabricantes de circuitos integrados iniciaron la difusión de un nuevo circuito para control, medición e instrumentación al que llamaron microcomputador en un sólo chip o de manera más exacta MICROCONTROLADOR. [7]

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene toda la estructura (arquitectura) de un microcomputador, o sea CPU, RAM, ROM y circuitos de entrada y salida.

Algunos microcontroladores más especializados poseen además convertidores análogo digital, temporizadores, contadores y un sistema para permitir la comunicación serial.

El microcontrolador escogido para este proyecto es el PIC 16F876, cuyas características principales se resumen a continuación[8]:

- o Operan desde DC hasta 20 MHz
- o Tecnología RISC.
- o Bajo consumo de potencia: 2mA a 5V y 4MHz, 20  $\mu$ A a 3V y 32 Khz. y 1 $\mu$ A en modo de reposo, disipación máxima menor a 800 mw.
- o Memoria EEPROM de datos, 8k de memoria FLASH, memoria de Datos RAM de 368 bytes y PROM internas
- o Circuito de vigilancia (Watchdog) para recuperación por fallas de programa.
- o Veinte líneas de entrada y salida que permiten el manejo de corrientes considerables (25mA en "entrada" y 20 mA en "salida")
- o Modo de operación para ahorro de potencia "sleep"



- Fusible para protección de código
- Convertidores análogo-digital multiplexados de 10 bits (Cuatro)
- Temporizadores programables
- El conjunto de instrucciones está formado por 35 palabras
- Direccionamientos en modos directo, indirecto y relativo para datos e instrucciones.
- Stack o pila de 8 niveles .
- El rango de voltaje de operación es de 4.0 V a 5.5V
- Dos módulos de Captura- Comparación-PWM.
- Puerto serial sincrónico con SPI y IIC.
- Posee USART con 9 bits de detección.
- Posibilidad de programar en bajo voltaje mediante dos pines.

La estructura interna del PIC 16F876 se basa en registros con memoria y buses separados para las instrucciones y los datos, llamada arquitectura Harvard. La memoria y el bus de datos (RAM) son de 8 bits, mientras que la memoria EPROM y su bus tienen 12 bits.

Esta estructura emplea 2 espacios de memoria diferentes, uno para datos y otro para programas y además se utilizan 2 buses distintos: uno para el tráfico entre la CPU y los datos y otro para la comunicación entre la memoria de programa y la CPU. Esto permite que, mientras una instrucción se ejecuta utilizando el bus de datos (8 bits). La siguiente se está leyendo desde la memoria de programa y cargándose en el registro de instrucción utilizando el bus de instrucciones de 12 bits.

### 2.2.2.2 Circuito

Para la operación del microcontrolador, se necesitan algunos elementos extras, además de la alimentación necesita de un elemento resonante, en este caso un cristal, para que le proporcione una señal de reloj.

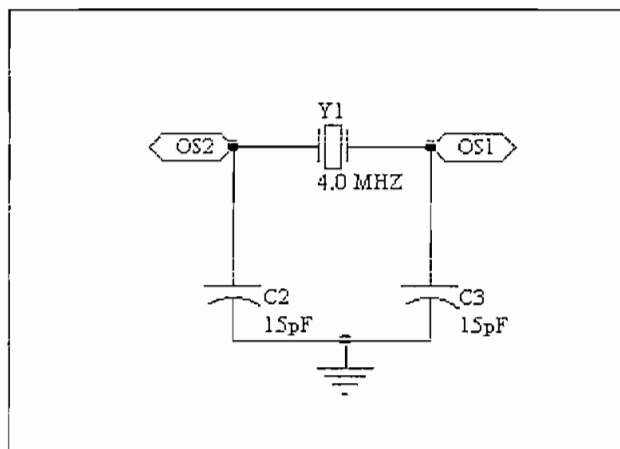


Fig. 2.10 Circuito del Cristal Oscilador

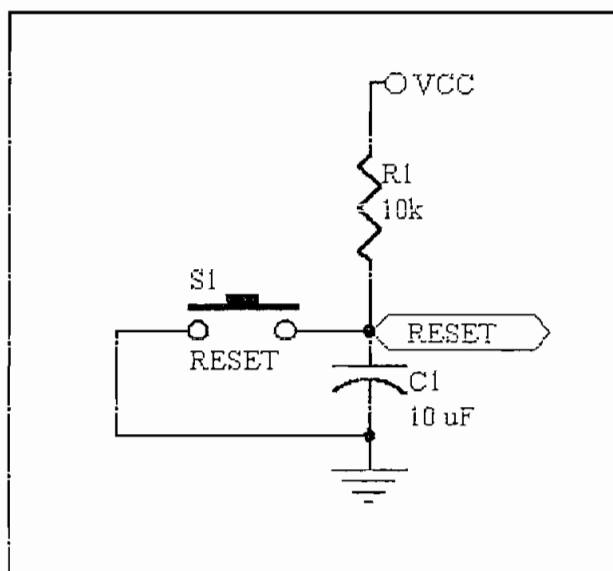


Fig. 2.11 Circuito de Reset

En el anterior circuito, se presenta un pulsante, para dar al PIC un pulso para resetearlo, el capacitor C1 tiene la función de eliminar ruido, es decir hace las veces de un filtro pasabajos.

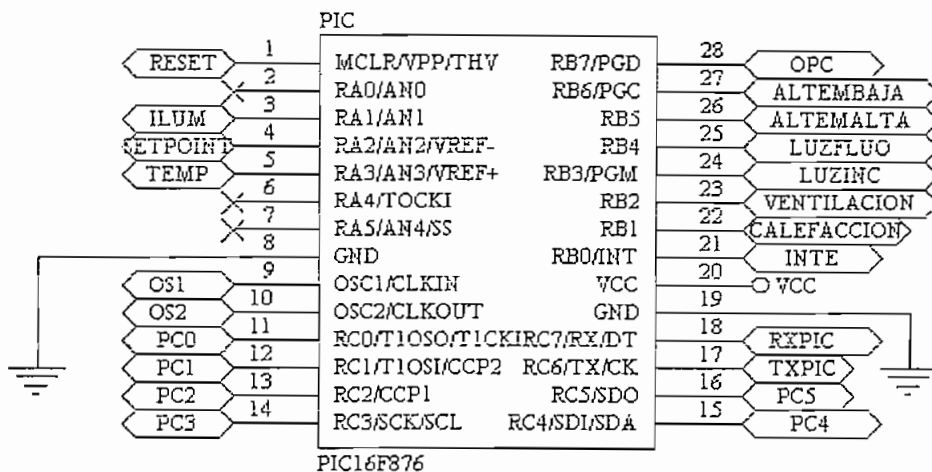


Fig. 2.12 Microcontrolador PIC

En la figura 2.12, se muestra al microcontrolador PIC 16F876, con todas las conexiones necesarias para su funcionamiento (alimentación, oscilador y reset), y todas las conexiones hacia las otras etapas del proyecto.

### 2.3 INTERFAZ PC-PIC

En este proyecto, se realiza un control administrador a través de un PC, para la comunicación se utiliza el puerto serial, por lo que se hace necesario un circuito que transforme las señales de RS-232 a TTL, y viceversa.

Para la comunicación no se utiliza ningún control de flujo, es decir que solo se utiliza las señales de transmisión, recepción y tierra.

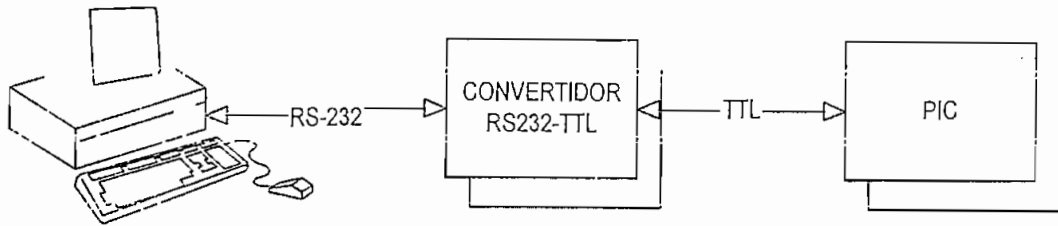


Fig. 2.13 Diagrama de comunicación serial

Para la conversión de los protocolos se utiliza un circuito integrado especial, el MAX-232, en la figura 2.13 se presenta el circuito utilizado[10].

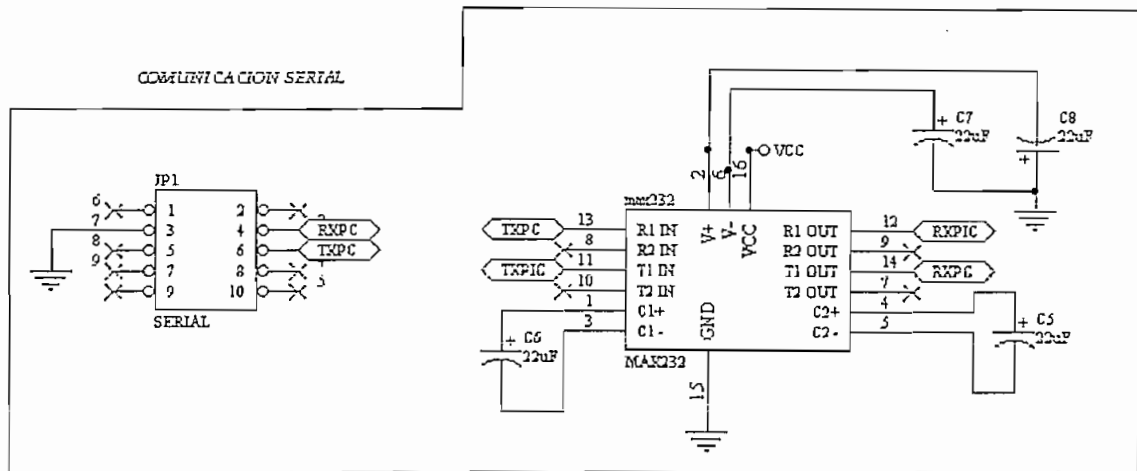


Fig. 2.14 Conexión del integrado MAX-232, para comunicación serial

## 2.4 TARJETA DE CONTROL

Todos los circuitos descritos anteriormente forman el circuito de control, el mismo que se encuentra implementado en una sola tarjeta, la que se diseñó mediante el programa de diseño PROTEL-99, y se presenta en el Anexo A el esquemático y la distribución de los elementos.

En el Anexo A se puede observar que se encuentran 3 Headers, dos de los cuales son para la comunicación con otros elementos del proyecto ( comunicación con la PC, y circuito de potencia), el tercer header proporciona los pines libres del microcontrolador para futuras ampliaciones del proyecto.

Cabe indicar que la tarjeta posee también leds indicadores del estado del sistema, los mismos que se describen en el mencionado anexo

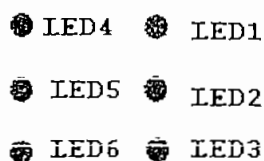


Fig. 2.15 Leds Indicadores en Tarjeta de Control

En la anterior figura, se presentan los leds indicadores, los mismos que representan:

- LED1: Activación del ventilador
- LED2: Alerta de temperatura baja
- LED3: Alerta de temperatura alta
- LED4: Activación del control de luz incandescente.
- LED5: Activación de luz fluorescente
- LED6: Activación de la calefacción.

## 2.5 INTERFAZ PIC-ACTUADORES

La interfase que se utiliza entre las señales de control que envía el PIC y los elementos finales de control, cuando se trata de control ON-OFF, el circuito utilizado se basa en optoacoplador, que activa un relé, y éste a los elementos finales de control (calefacción, ventilación, iluminación fluorescente).

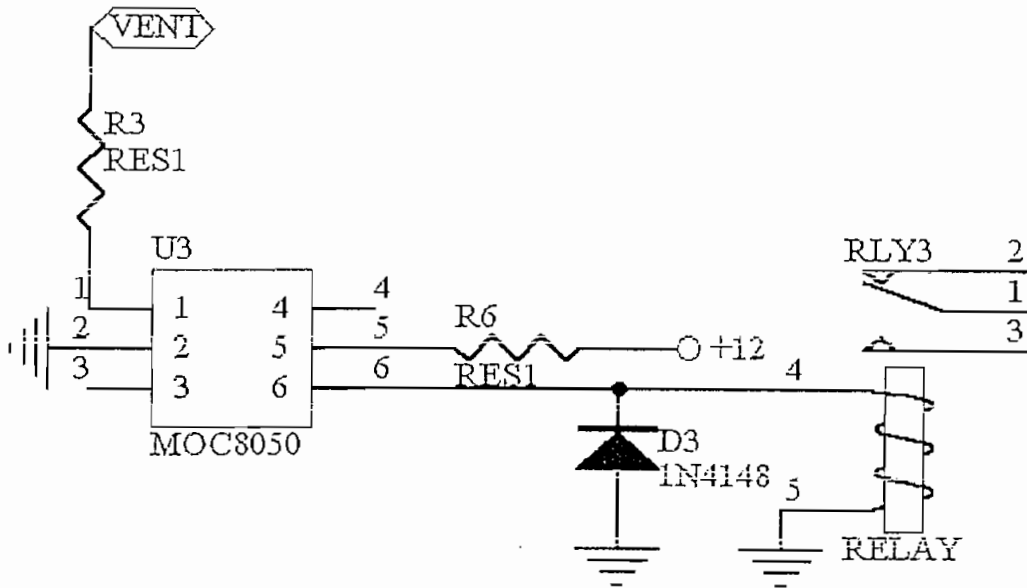


Fig. 2.16 Acoplamiento control - potencia

El integrado utilizado para realizar el optoacoplador es un optodarlington, y para proceder al diseño de la resistencia R3 y R6 de la figura Fig. 2.15, se debe conocer primero el valor de las corrientes que circularán a través de las dos etapas del integrado, así en la parte del diodo tiene una corriente  $I_d$  (mA), por lo que la resistencia R3 viene dada por la ecuación:

$$R3 = \frac{V_o - V_d}{I_d}$$

Ec. 2.6

Dónde:

$V_o$  = Voltaje proveniente del control

$I_d$  = Corriente a través del diodo

$V_d$  = El voltaje que cae en el diodo

Reemplazando para las peores condiciones tenemos:

$$R3 = \frac{3.5}{60mA} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$R3 = 58\Omega \quad \text{Ec. 2.8}$$

Para el cálculo de la resistencia R6, también se aplica la Ley de Ohm, pero para esta ocasión se debe tomar en cuenta también la resistencia de la bobina del relé.

Realizando los cálculos y las pruebas necesarias, se tiene que  $R6 = 100 \Omega$ .

El diodo D3, del circuito anterior, tiene una función de protección para la bobina del relé, es decir evitando que se active por algún voltaje parásito de otra polaridad a la esperada.

Para el control de fase directo utilizado en la iluminación incandescente, se utiliza también un elemento optoacoplador, para realizar la internase entre el control y la potencia. A continuación es presentado el circuito utilizado:

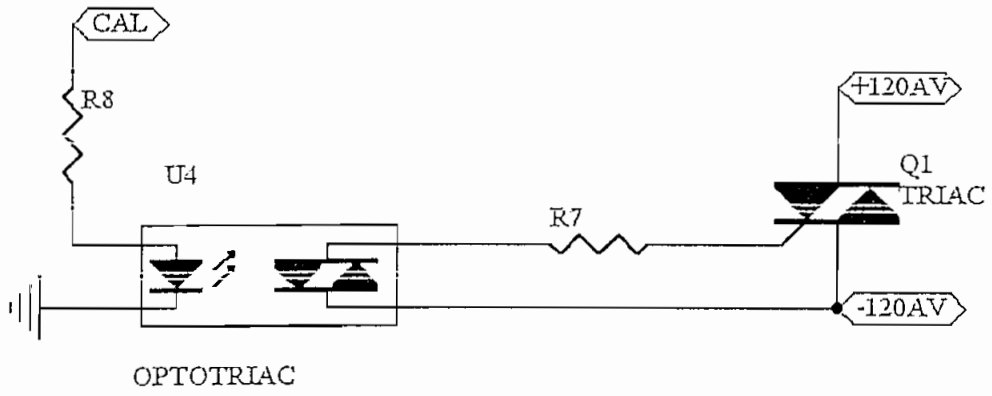


Fig. 2.17 Circuito de Activación del TRIAC

El diagrama general del control de fase es la el siguiente:

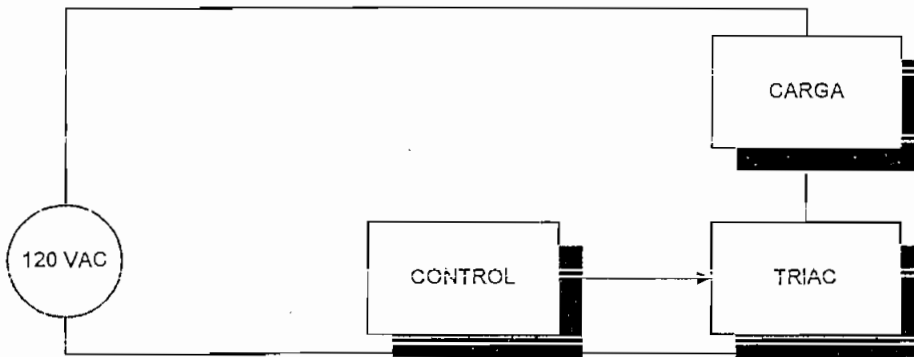


Fig. 2.18 Diagrama de conexión del TRIAC



Para el cálculo de R7, se debe tomar en cuenta la corriente de Gate máxima que puede soportar el TRIAC, TIC226, y calcular que al voltaje máximo que soporte el optotriac.

Así R7 queda definida por la relación:

$$R7 = \frac{Vf \text{ max}}{Ig \text{ max}} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

Vf max = voltaje máximo ( $120 * \sqrt{2}$ )

Ig max = Corriente de compuerta máxima (TRIAC)

$$R7 = \frac{120V * \sqrt{2}}{50mA} \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$R7 = 3.3K\Omega \quad \text{Ec. 2.12}$$

## 2.6 SOFTWARE DE APOYO

### 2.6.1 SOFTWARE DEL PIC

A continuación se presentará la descripción del programa implementado en lenguaje assembler en el microcontrolador PIC 16F876, el mismo que es el encargado del control del sistema.

Este programa está dividido en dos partes, la primera, que se encarga del control del sistema, y la segunda que se encarga de proporcionar datos al usuario, a través de la comunicación con la PC, además de permitir la administración del sistema.

Se presenta el flujograma del programa del microcontrolador, que se encarga del control de sistema, en la figura Fig. 2.19.

#### 2.6.1.1 Inicialización

La función de esta subrutina es la de inicializar los registros necesarios para la operación normal del sistema, es así como se inicializa los puertos, seteando que sean entradas o salidas digitales.

Se debe inicializar también, los registros necesarios para realizar la conversión de las señales provenientes de los sensores y los necesarios para realizar la comunicación serial con la PC.

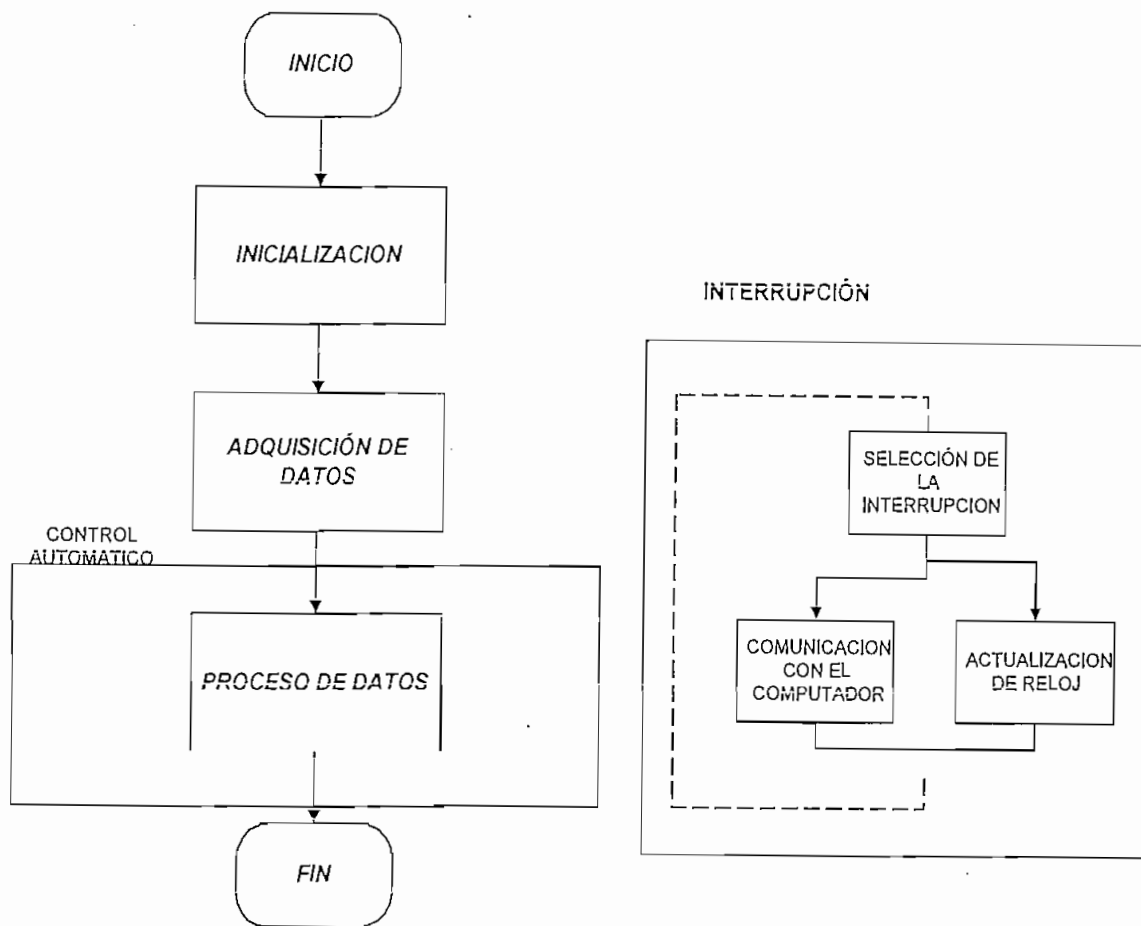


Fig. 2.19 Programa del microcontrolador

Para poder acceder a la conversión análogo digital que posee el PIC, se debe:

- o Setear como entradas analógicas a los pines por los cuales entrarán las señales de los sensores.
- o Definir cuál será la el voltaje de referencia para la conversión, es decir si será un voltaje externo o será el voltaje de alimentación, tanto en el límite positivo como el negativo.

Para poder utilizar el puerto de comunicación serial del PIC, se debe realizar los siguientes pasos:

- o Configurar los pines correspondientes como entrada (Rxd) y salida (Txd).
- o Se habilita las características de la comunicación, es decir, si es sincrónica o no, el número de bits de datos, la velocidad de transmisión.
- o Habilitar la interrupción de la recepción serial.

Dentro de la inicialización también se carga los valores iniciales para el temporizador que será el encargado de llevar el reloj en tiempo real.

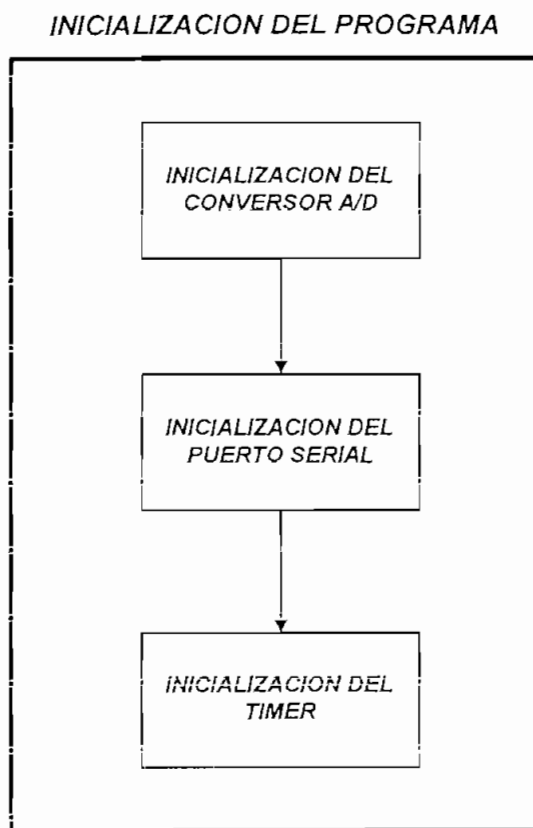


Fig. 2.20 Inicialización del sistema

Se debe también habilitar la interrupción del TIMER1, que es el encargado del tiempo.

### 2.6.1.2 Adquisición de Datos

Esta función comprende cuatro subrutinas, las mismas que son las encargadas de adquirir los datos de los límites para el control y los datos de las variables.

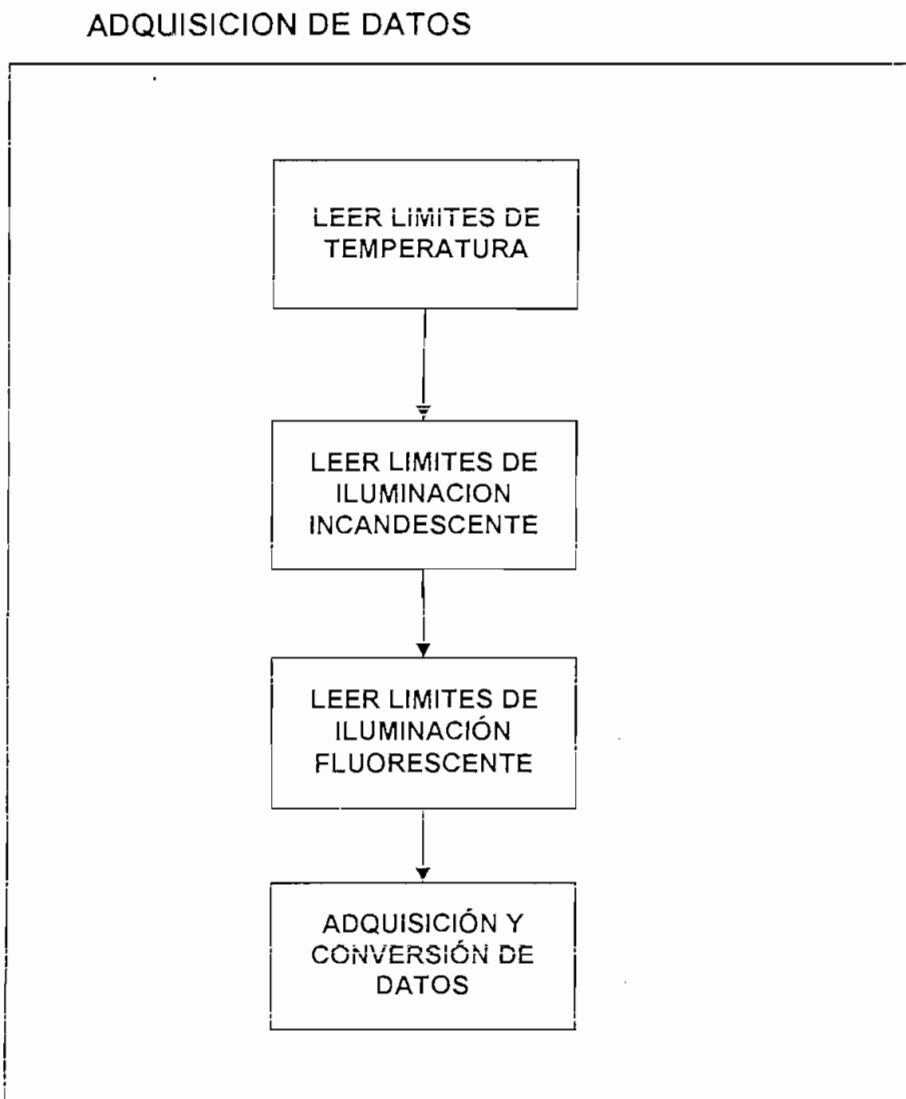


Fig. 2.21 Adquisición de Datos

Para poder adquirir los datos de los límites de la temperatura, que serán guardados en la memoria EEPROM de datos del PIC, se deberá seguir los siguiente pasos:

- Verificar la bandera de escritura de los límites, esta bandera indicará, si en algún momento, el usuario, a través del control administrador ha cargado o definido valores para los límites.
- En caso de que el usuario los haya definido, el programa leerá estos datos de la memoria EEPROM de datos; caso contrario se cargarán valores por defecto que son impuestos por el programador.

El procedimiento es similar cuando se trata de adquirir los límites de los tiempos iniciales y finales para activar el control de luz incandescente y la luz fluorescente. La única diferencia serán las banderas, y que en el procedimiento anterior cada límite es un solo valor, mientras que en estos los límites serán de dos datos, la hora y los minutos.

Para obtener los datos de las variables a través de los conversores se debe realizar lo siguiente:

- o Escoger el canal del cual se va a adquirir la señal, esto se lo hace a través de un mux interno.
- o Activar los conversores
- o Activar la conversión.
- o Esperar que se realice la conversión, es decir esperar que la bandera de conversión pase a 1L.
- o Desactivar los conversores.

- o Esperar que se recupere el conversor, para poder empezar otra conversión; se lo hace a través de un retardo creado con registros.

Este procedimiento se sigue con las tres variables a ser adquiridas, es decir la temperatura, iluminación, y el set – point de la iluminación, los mismos que se encuentran en los canales AN3, AN1 y AN2 respectivamente.

### 2.6.1.3 Procesamiento de Datos.

Una vez que se han adquirido los datos de los límites y de las variables, se procede a realizar el algoritmo de control de las mismas. Es así que este procedimiento ha sido dividido en algunas subrutinas.

#### *PROCESAMIENTO DE DATOS*

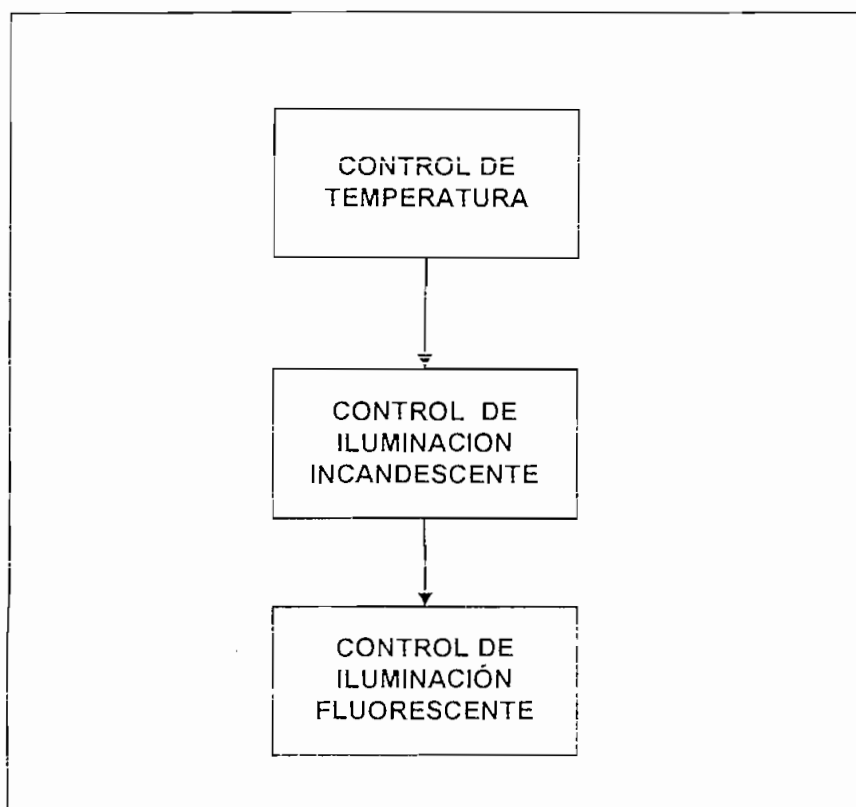


Fig. 2.22 Procesamiento

El control de la temperatura es un control ON-OFF, el mismo que se puede resumir en la Fig. 2.23.

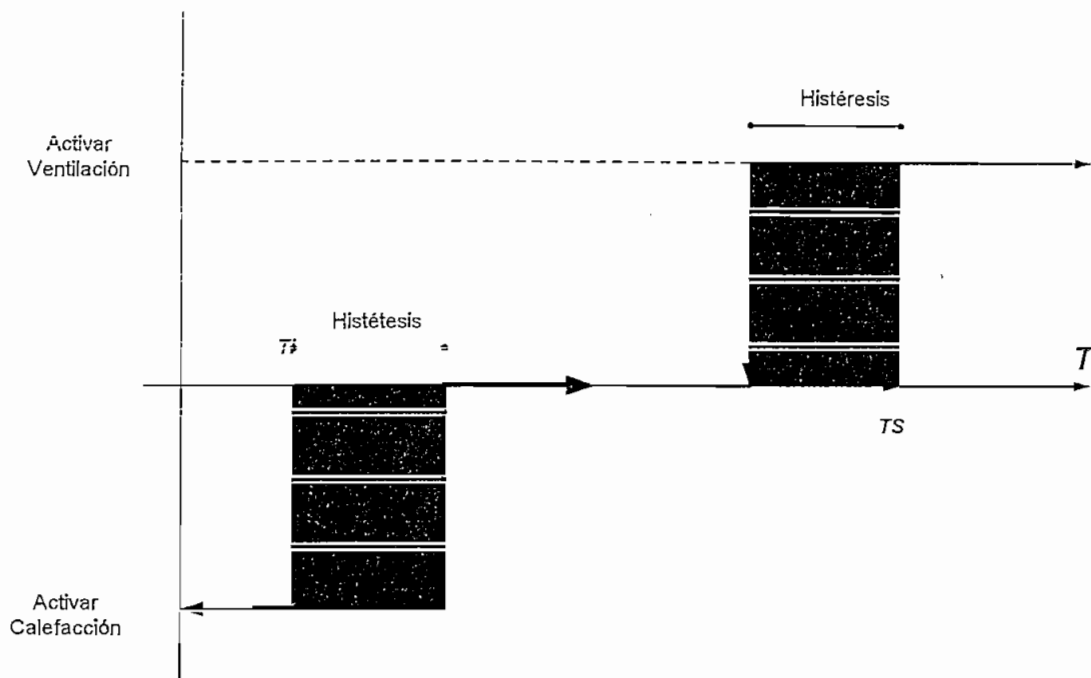


Fig. 2.23 Control de Temperatura.

Es decir que el control a más de ser un control ON -OFF, posee dos rangos de histéresis para proteger a los elementos finales de control.

El control de la iluminación fluorescente, y de la iluminación incandescente no tienen lazos de histéresis debido a que el tiempo siempre está creciendo, pero cabe indicar que si el tiempo inicial es superior al tiempo final, indicará que hay un cambio de día en el mismo.



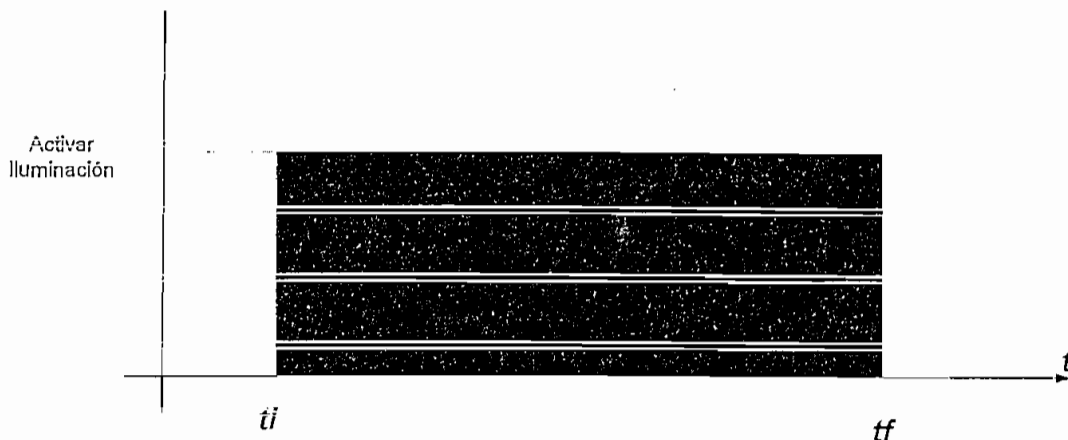


Fig. 2.24 Control de Iluminación

#### 2.6.1.4 Interrupciones

El PIC 16F876, tiene catorce fuentes de interrupción, las mismas que al ser activadas provocan que el contador de programa del microcontrolador, salten a la misma localidad de memoria; por lo que es necesario, la discriminación de las mismas.

En el presente proyecto únicamente se utilizan dos de las fuentes de interrupción posibles: interrupción por desbordamiento del TIMER 1, interrupción por la recepción de un dato por el UART (puerto serial asincrónico), por tanto el primer paso que se realiza al llegar a este punto en el programa, se verifica si alguna de las mismas ha sido la causante de este salto; caso contrario sale de la interrupción y regresa al programa principal.

### INTERRUPCION

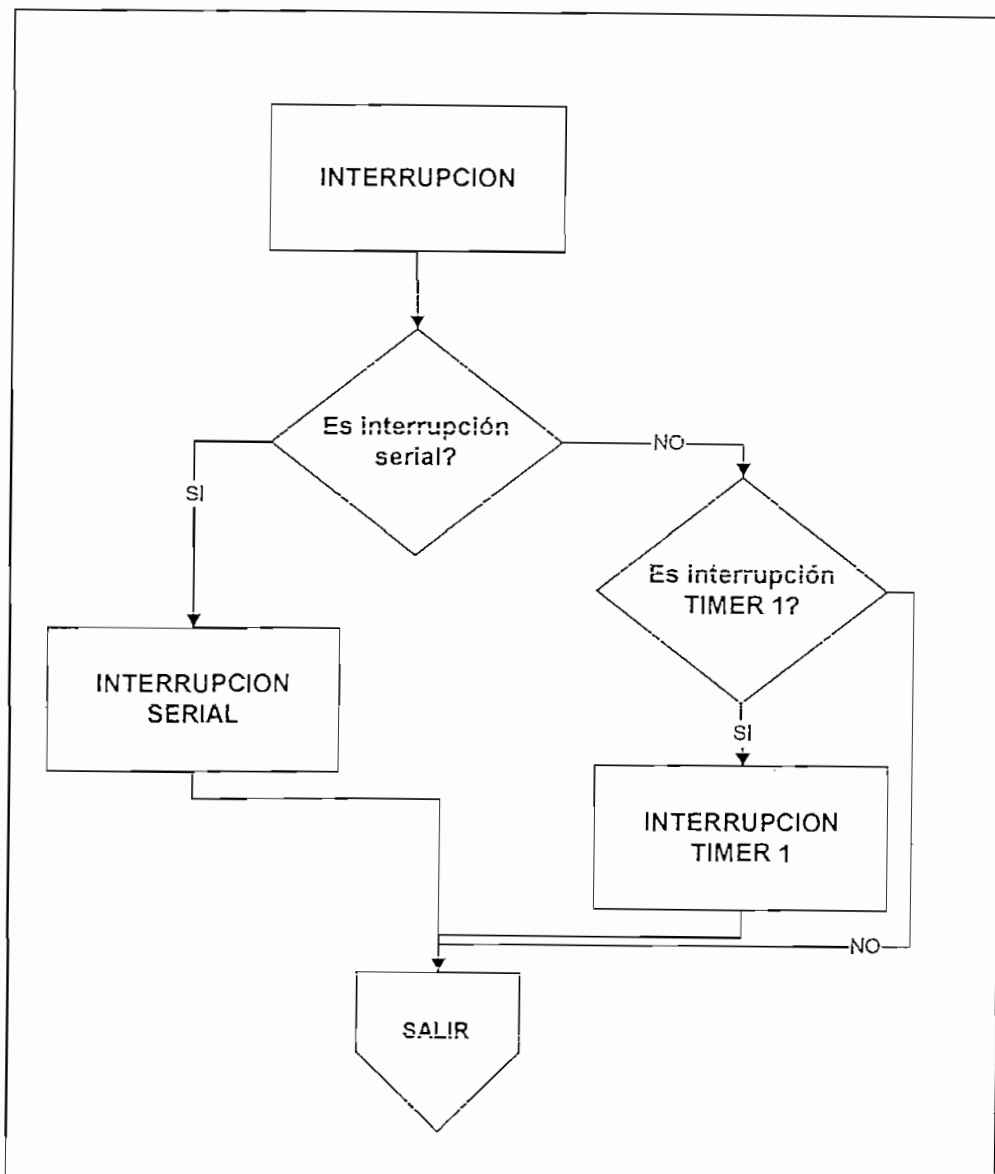
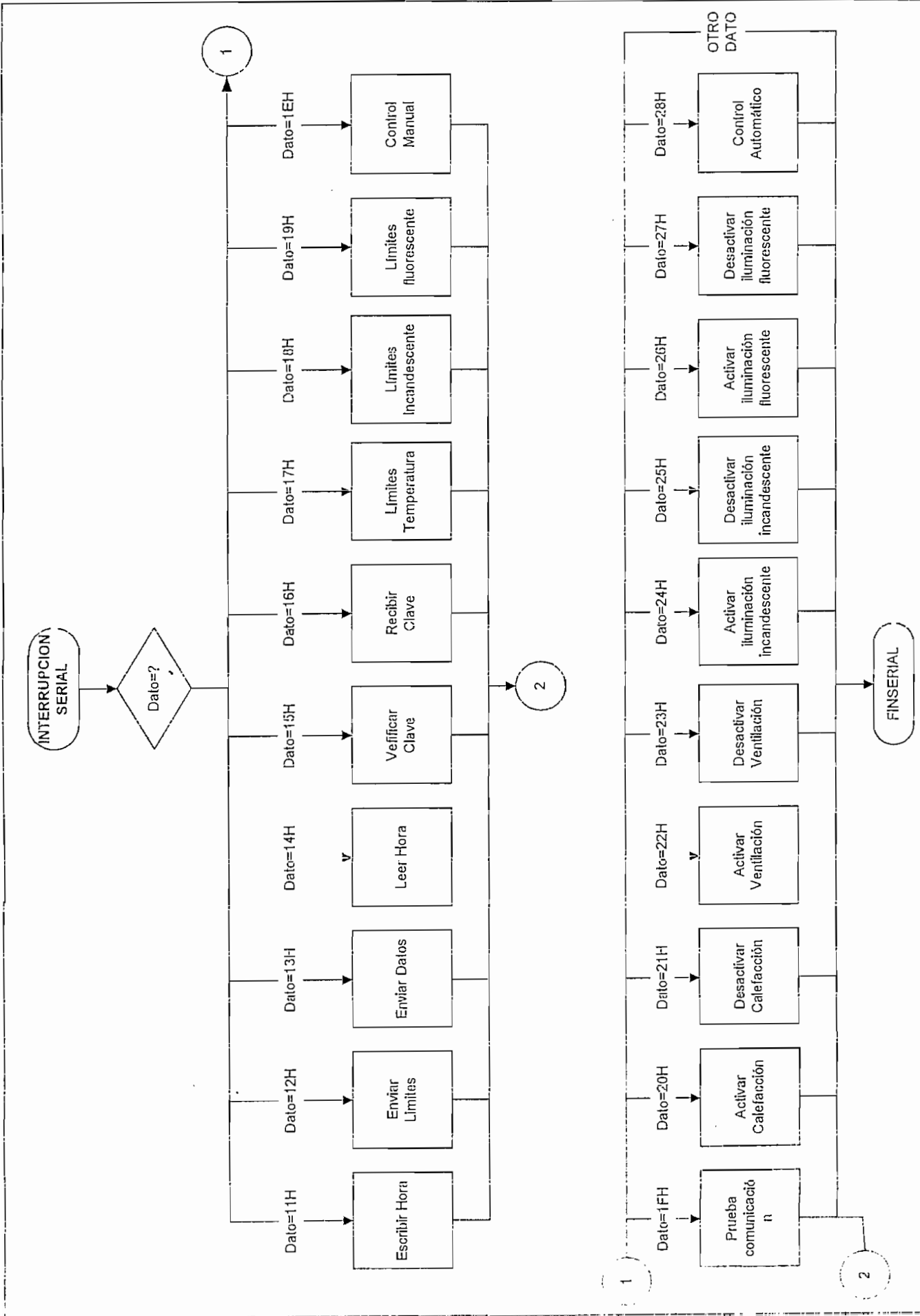


Fig. 2.25 Interrupción

Cuando se produce la interrupción por el TIMER 1, se realiza la actualización de los valores para generar el reloj en tiempo real, o se vuelven a cargar los valores en el timer para generar otro retardo de 500 milisegundos.

La interrupción serial está en concordancia con el programa administrador del PC. A continuación se detallan los procesos que se realizarán de acuerdo a cada dato recibido.



Como se puede observar en la figura 2.26, los datos que se ingresan al microcontrolador, dependerán del modo en que se encuentre la interfase, es así que los primeros son comunes, mientras que los demás son privativos del administrador del sistema. Cabe indicar que la variable DATO, es el valor numérico del dato enviado por el PC.

Se describirá a continuación cada uno de los procedimientos:

- a) Escribir Hora (DATO = 11H): En éste, el microcontrolador recibe los datos de la hora y los minutos, es el encargado de actualizar la hora del reloj interno del microcontrolador con el del PC.
- b) Envía Límites (DATO = 12H): Es el encargado de enviar todos los límites de la temperatura y la iluminación que están siendo utilizados por el microcontrolador para el control al PC, es decir envía, límite inferior de la temperatura, límite superior de la temperatura, tiempo inicial de luz fluorescente, tiempo final de luz fluorescente, tiempo inicial de luz incandescente y tiempo final de luz incandescente, además del set point para la luz incandescente.
- c) Envía Datos ( DATO = 13h): Envía al PC los datos de las variables: Temperatura, iluminación, hora, minutos y el set point de la iluminación.
- d) Leer Hora ( DATO = 14H): En este procedimiento, el microcontrolador envía los datos de la hora y los minutos, para poder visualizar en el PC.

Los procedimientos anteriores son comunes para todos, a continuación se presentan los que son propios para el administrador del sistema.

- e) Verificar Clave (DATO = 15H): El microcontrolador verifica si alguna clave ha sido ingresada por el usuario anteriormente, en caso afirmativo, lee de la memoria EPROM de datos y luego la transmite a la PC, caso contrario, transmite una serie de valores sin significado (basura), es decir

primero envía una bandera, para confirmar que existe una clave válida, y a continuación transmite la clave.

- f) Recibir Clave (DATO = 16 H): Se recibe la clave ingresada por el usuario, para luego escribirse en la memoria EPROM de datos interna del microcontrolador. La clave debe ser de 4 caracteres únicamente.
- g) Límites Temperatura (DATO = 17H): Se recibe los límites de la temperatura, y luego se escriben en la memoria EPROM de datos.
- h) Límites Incandescente (DATO = 18H): Se recibe los límites de la iluminación incandescente, y luego se escriben en la memoria EPROM de datos.
- i) Límites Fluorescente (DATO = 19H): Se recibe los límites de la iluminación fluorescente, y luego se escriben en la memoria EPROM de datos.

A continuación se presentan los procedimientos correspondientes al control manual. Igualmente es propio del administrador del sistema.

- j) Control Manual (DATO = 1EH): El microcontrolador activa la bandera de control automático, y se desactiva todos los actuadores.
- k) Prueba Comunicación (DATO = 1FH): Devuelve a la PC, un dato predeterminado por el programador, confirmar la comunicación.

Los procedimientos siguientes, se podrán utilizar únicamente cuando se encuentra en modo de control manual, y éste es administrado desde el PC.

- l) Activar Calefacción (DATO = 20H): Se borra el pin 1 del Pórtico B, con esta acción se activa el elemento calefactor, debido a que se encuentran con lógica inversa.
  
- m) Desactivar Calefacción (DATO = 21H): Se setea el pin 1 del Pórtico B, con lo que se desactiva la calefacción.
  
- n) Activar Ventilación (DATO = 22H): Se borra el pin 2 del Pórtico B, con esta acción se activa el ventilador.
  
- o) Desactivar Ventilación (DATO = 23H): Al setear el pin 2 del Pórtico B, se desactiva el ventilador.
  
- p) Activar Iluminación Incandescente (DATO = 24H): Se setea el pin 3 del Pórtico B y se activa el control PI de la iluminación incandescente
  
- q) Desactivar Iluminación Incandescente (DATO = 25H): Al borrar el pin 3 del Pórtico B, se desactiva el control de la iluminación incandescente.
  
- r) Activar Iluminación Fluorescente (DATO = 26H): Se borra el pin 4 del Pórtico B para activar la iluminación fluorescente.
  
- s) Desactivar Iluminación Fluorescente (DATO = 27H): Se setea el pin 4 del Pórtico B para desactivar la iluminación fluorescente.
  
- t) Control Automático (DATO = 28H): Se desactiva la bandera de control manual y se desactivan todos los actuadores.

## 2.6.2 INTERFAZ CON EL USUARIO

### 2.6.2.1 Introducción

Esta interfase es creada con el objetivo de realizar el control administrador del sistema encargado de realizar el control de la temperatura y la iluminación de un invernadero. Con el cual se podrá cambiar los límites para el control de las variables mencionadas, visualizar la variación de las mismas, actualizar el reloj interno del microcontrolador encargado de realizar el control, y acceder a un control manual de la planta. Se posee además la utilidad de guardar los datos de las variables controladas para un posterior análisis.

Se encuentra desarrollado bajo un módulo para desarrollo de 32 bits en Windows como es el Microsoft Visual Basic 6.0, cuyas principales ventajas son las siguientes [ 11 ]:

- Las características de acceso a datos le permiten crear bases de datos, aplicaciones cliente, y componentes de servidor escalables para los formatos de las bases de datos más conocidas, incluidos Microsoft SQL Server y otras bases de datos de ámbito empresarial.
- Las tecnologías ActiveX™ le permiten usar la funcionalidad proporcionada por otras aplicaciones, como el procesador de textos Microsoft Word, la hoja de cálculo Microsoft Excel y otras aplicaciones Windows. Puede incluso automatizar las aplicaciones y los objetos creados con la Edición Profesional o la Edición Empresarial de Visual Basic.
- Las capacidades de Internet facilitan el acceso a documentos y aplicaciones a través de Internet o intranet desde su propia aplicación, o la creación de aplicaciones de servidor para Internet.

- La aplicación terminada es un auténtico archivo .exe que utiliza una máquina virtual de Visual Basic que puede distribuir con toda libertad.

Esta interfase necesita por lo menos que el sistema sea Windows 95, y que se tenga un puerto serial de comunicaciones libre, con un conector DB9, además es de recordar que esta interfase es el control administrador del presente proyecto, por lo que es necesario el hardware adicional, que viene integrado por la tarjeta de control y la de potencia.

### **2.6.2.2 Indicaciones Generales**

Esta interfase es creada con el objetivo de realizar el control administrador del prototipo de control de este proyecto, por lo que tiene dos modos de operación: el de usuario y el de administrador. En el primero solo se podrá obtener información del estado del sistema, y en el segundo se podrá variar los valores críticos del mismo.

El acceso al modo de administrador, se puede acceder digitando una clave, la misma que consta de cuatro caracteres, y es almacenada en la memoria EPROM de datos del PIC, y al ser enviada al PC, esta se encarga de realizar la comprobación, y de permitir o no el acceso al modo de administrador.

En caso de que el sistema no funcione correctamente, se deberá asegurar que el hardware funcione correctamente, tanto del PC, como del módulo de control del sistema. Además de prever que el puerto usado para la comunicación del sistema no esté siendo utilizado por algún otro programa o aplicación.



### 2.6.2.3 Manejo del Sistema

Para poder ingresar al sistema basta con hacer correr el programa, y se presentará una pantalla de presentación del mismo, donde constan:

- o Nombre del programa.
- o Requerimientos de Software
- o Versión del programa.



Fig. 2.27 Presentación

A continuación se presentará una advertencia, para que el usuario sea informado que antes de que el sistema pueda comunicarse con el prototipo, se necesita

configurar el puerto de comunicaciones a utilizarse con los valores aceptados por el prototipo.

Posterior a lo cual, el sistema ingresa en modo de usuario.

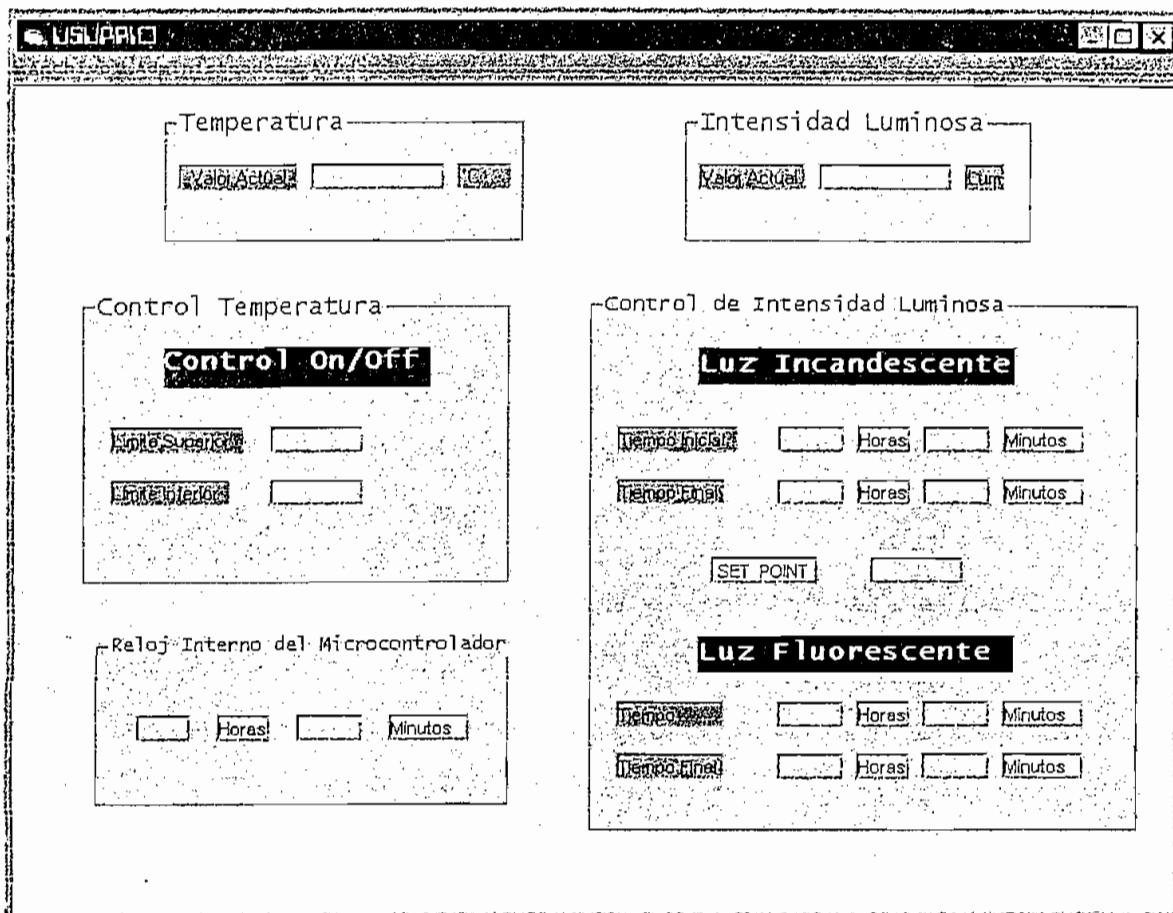


Fig. 2.28 Modo Usuario

Como se puede observar en la figura 2.28, en el modo usuario se encuentran dos menús: Archivo y Administrador; cuyo contenido se detalla más adelante.

El menú Archivo consta de los siguiente submenús:

- o Graficar Intensidad Luminosa
- o Graficar Temperatura
- o Salir

De los cuales solo salir se encuentra activo al iniciar el programa

Mientras que el menú Administrador consta de los siguientes:

- o Ingresar (Inactivo al momento de iniciar)
- o Configurar Puerto
- o Base de datos (Inactivo al momento de iniciar)

Para que el sistema pueda comenzar a funcionar en su totalidad, se debe primero configurar el puerto de comunicaciones, para lo cual se accede al submenú Configurar Puerto, del menú Administrador, y se presenta la siguiente pantalla:

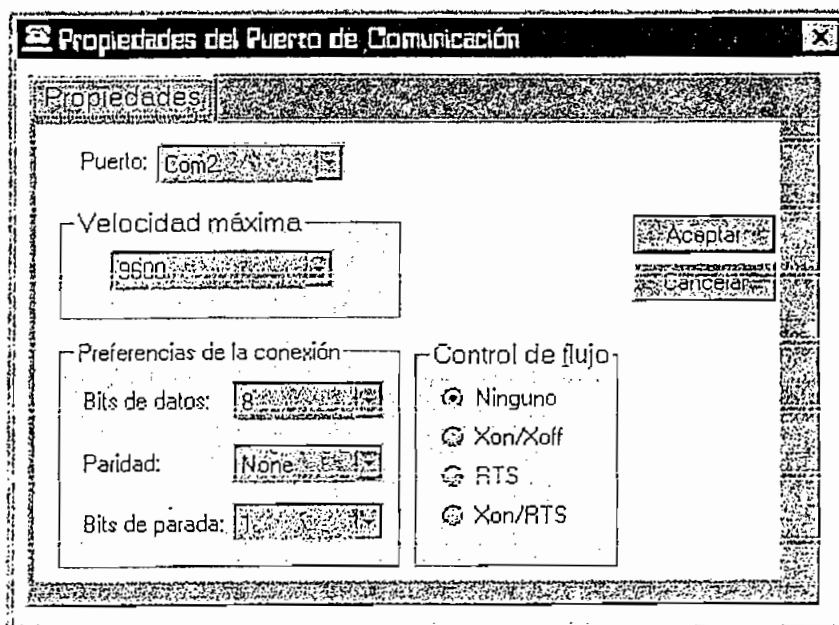


Fig. 2.29 Configuración del Puerto de Comunicación

Las propiedades que pueden ser seteadas son las siguientes:

- o Puerto: Com1, Com2, ... , Com6
- o Velocidad Máxima: 16 valores diferentes, desde 110 hasta 256000 Kb
- o Bits de Datos: 4,5,6,7,8
- o Paridad: Even, Odd, Mark, Space, Ninguna
- o Bits de Parada: 1, 1.5, 2
- o Control de Flujo: Ninguno, Xon/Xoff, RTS, Xon/RTS

Es necesario recordar que el prototipo trabaja únicamente con las siguientes características:

Velocidad: 9600 Kb

Bits de Datos: 8

Paridad: Ninguna

Bits de parada: 1

Control de Flujo: Ninguno.

Pero dado el caso que se modifique el prototipo o se utilice otro, se conservan la opción de cambiar las especificaciones para la comunicación del sistema.

Luego de configurar el puerto, aparece una pantalla de comprobación de la comunicación con el prototipo, en la cual se da la opción para realizar esta operación, sin la cual el sistema no activará ninguna otra función.

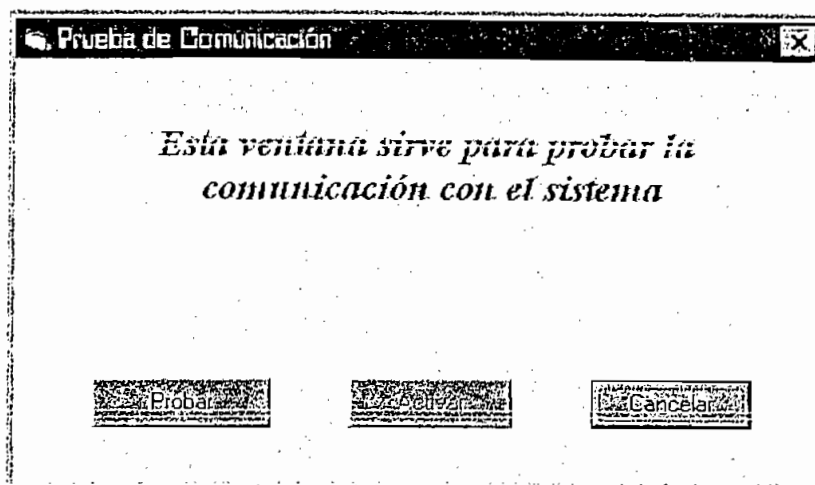


Fig. 2.30 Prueba de Comunicación

Después de haber comprobado la comunicación, se puede activar el sistema, con lo cual se visualizan los valores de las variables en modo usuario, se activan los submenús del modo de Usuario, para poder graficar la temperatura y la iluminación.

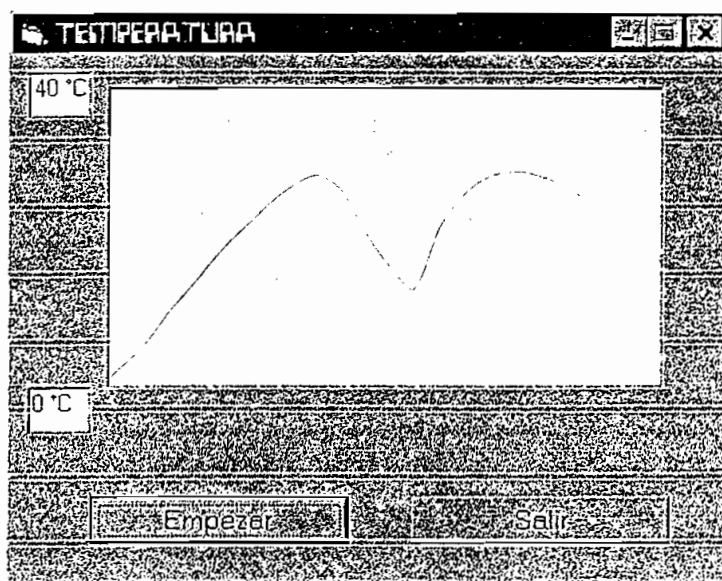


Fig. 2.31 Graficar Temperatura

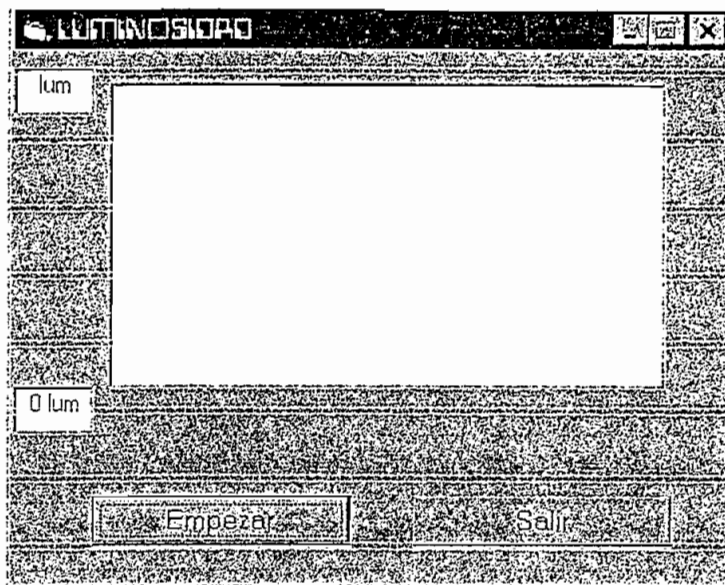


Fig. 2.32 Graficar Luminosidad

A más de activarse las opciones de graficación se activa la posibilidad de ingresar al modo administrador, a la misma que se accede haciendo un clic en el submenú Ingresar del menú Administrador.

Para poder ingresar al modo de Administrador, el sistema pide al usuario una clave, la misma que es almacenada en el microcontrolador y posee únicamente 4 caracteres.

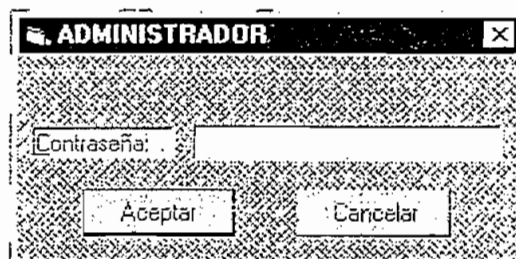


Fig. 2.33 Ingresar Clave

El usuario tiene únicamente tres intentos para ingresar la clave, si en estos tres intentos no logra un resultado positivo, el sistema bloquea esta opción.

Cuando se accede al menú de Base de Datos, se presenta la siguiente pantalla:

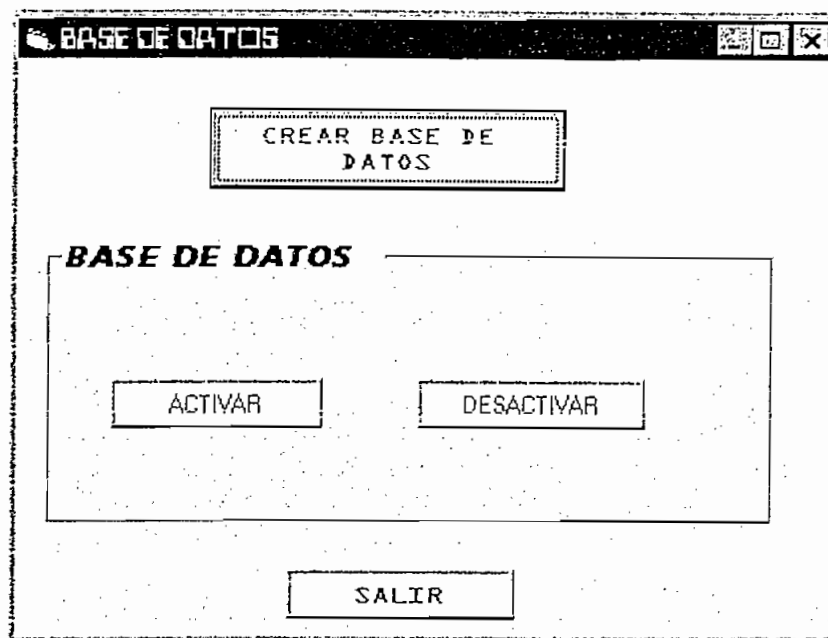


Fig.2.34 Base de Datos

Al acceder a la creación de una base de datos, el sistema crea una base de datos denominada "DATOS\_CAVEN.mdb", que será almacenada en la misma carpeta que el sistema.

Esta base de datos es de tipo ACCESS, por lo que se puede acceder a la misma con Microsoft Access, para realizar análisis posteriores. Los datos que se almacenarán, son la fecha, la hora, el valor de la temperatura y el de la iluminación.

Cuando activamos la base de datos, el sistema empieza a guardar en la base de datos mencionada, los valores de las variables a ser controladas ( temperatura e iluminación). Se almacenarán cada 15 minutos.

Al ingresar al modo de administrador se presenta la siguiente interfaz:

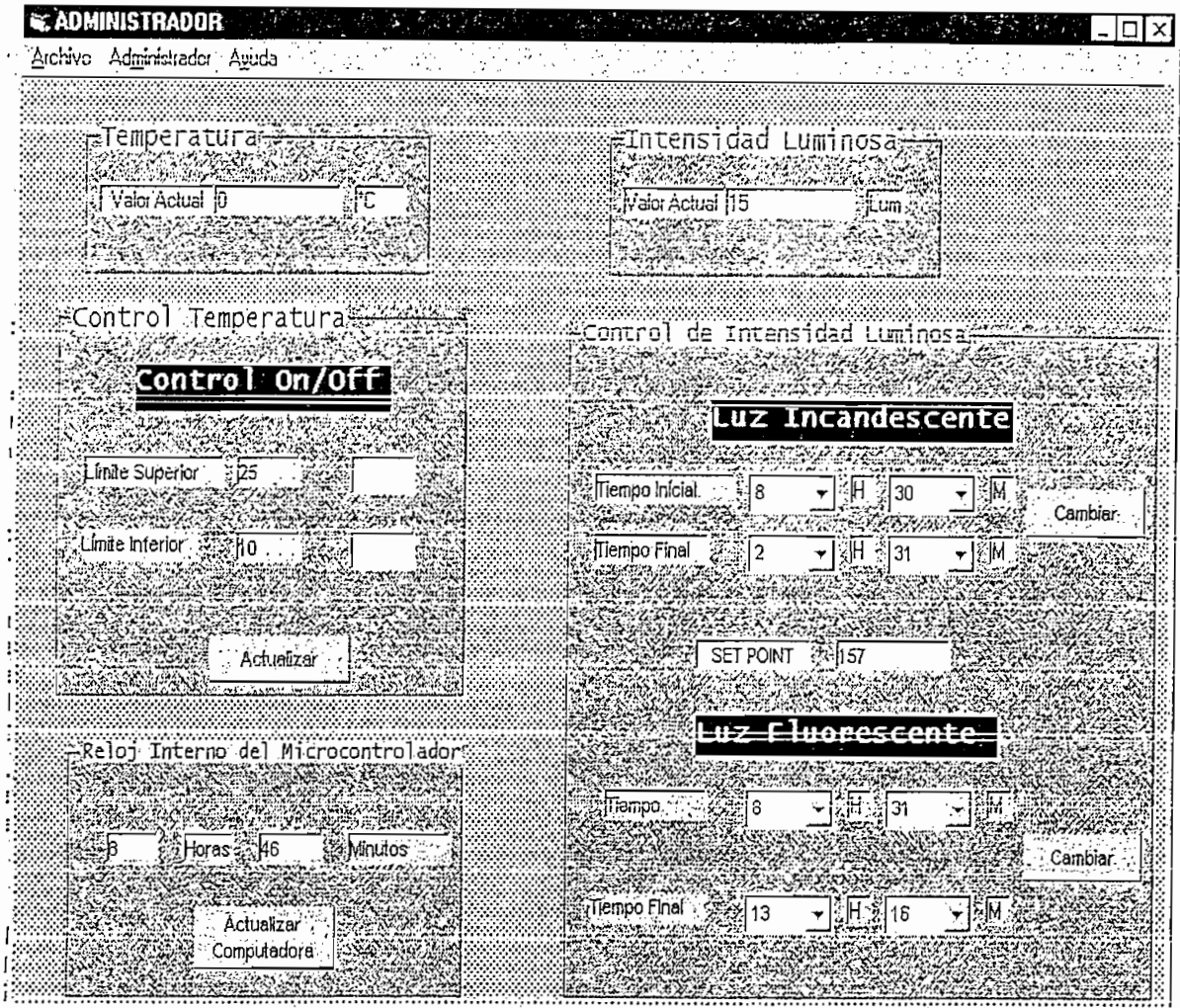


Fig. 2.35 Administrador

Dentro de la pantalla del administrador, se presentan algunas secciones, dentro de las cuales se tiene:

- Visualización de Datos: Donde se puede visualizar los valores de la temperatura y la luminosidad.
- Control de temperatura: Donde a más de visualizar los límites actuales de la temperatura, se da la alternativa de cambiarlos, para ello, se necesita digitar los nuevos datos de los límites dentro de los espacios en blanco de esta sección, y luego hacer un clic en el botón de actualizar. El límite máximo de la temperatura, podrá estar entre 25 y 40 °C, y el límite inferior entre 0 y 10 °C, con lo que se asegura que exista la suficiente diferencia



entre los rangos para que los lazos de histéresis del control funcionen correctamente.

- c) Control de Intensidad Luminosa: En ésta se encuentran dos subsecciones, la de iluminación incandescente y la de iluminación fluorescente. En cada una de ellas se presentan los valores actuales de los tiempos que actúan como límites, y la posibilidad de cambiarlos directamente. La forma de visualizar las horas será en formato de 24 horas. Si los valores del tiempo final son menores al del tiempo inicial, lo que se entiende es que el tiempo final pertenece al siguiente día. Cabe resaltar que la única forma de inhabilitar los controles dentro del prototipo es igualando el tiempo final al tiempo inicial
- d) Reloj interno del microcontrolador: se presenta el reloj en tiempo real implementado en el prototipo, se añade otra utilidad, respecto al modo de usuario, que es igualarlo al reloj de la PC, por lo que se recomienda que la hora de la PC, se encuentre cercana a la realidad.

Se activan también algunos submenús, que son propios del modo administrador; si bien también tenemos las opciones del usuario de graficar la temperatura y la iluminación.

Las opciones activadas en los menús son las siguientes:

- Cambio la clave: mediante ésta, se puede cambiar la clave de acceso al control administrador.

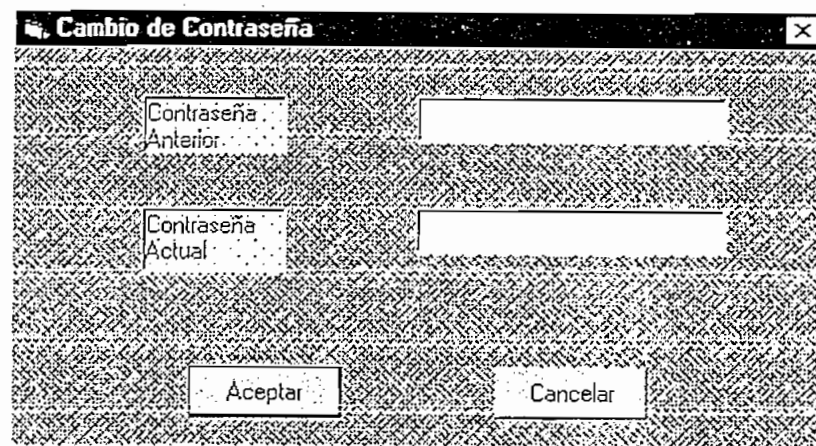


Fig. 2.36 Cambio de Clave

Se debe además tomar en cuenta que la nueva clave también debe ser de cuatro caracteres. En esta validación no se tiene un número máximo de intentos debido a que está ya dentro del modo administrador.

A más de la posibilidad de cambiar todos los límites y la clave de acceso al modo de Administrador, se posee también la posibilidad de controlar manualmente los actuadores de la planta, es decir se puede activar o desactivar la calefacción, la ventilación, la luz fluorescente, y el control de luz incandescente.

Este modo de control manual se utiliza para comprobar el estado de los actuadores de la planta, generalmente para pruebas o para realizar ajustes en las variables.

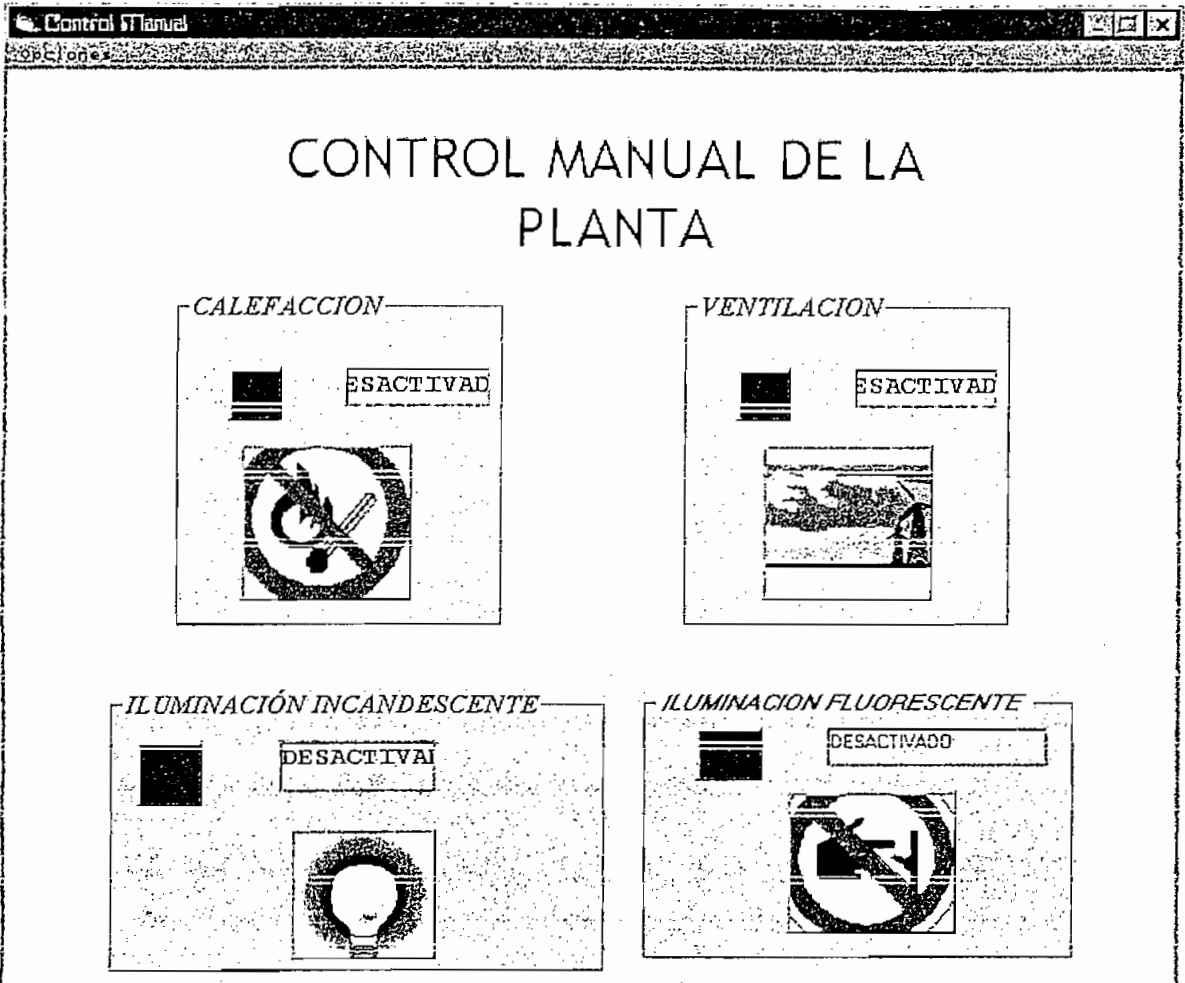


Fig. 2.36 Control Manual

Se observan los cuatro actuadores de la planta, los cuales se comandan a través de los botones que se encuentran en la parte izquierda de cada sección.

## CAPITULO 3

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Durante la implementación del prototipo de control, se probaron una por una todas las etapas del mismo. A continuación se presenta las pruebas realizadas en cada una de ellas.

#### 3.1 TARJETA DE CONTROL

##### 3.1.1 Acondicionamiento de Temperatura

En el acondicionamiento de temperatura para una termocupla tipo J, constituido por un amplificador de instrumentación y un amplificador inversor, tiene una respuesta casi lineal con un error teórico esperado 0.2 °C como máximo. Para su calibración se utilizó un Termómetro Digital de marca RadioShack.

La mayoría de los cultivos bajo invernadero, no sobrepasan como temperatura óptima los 40°C, por lo que se calcularon las ganancias de los amplificadores para que a la misma se obtenga 5 V. La calibración se realizó a 20°C.

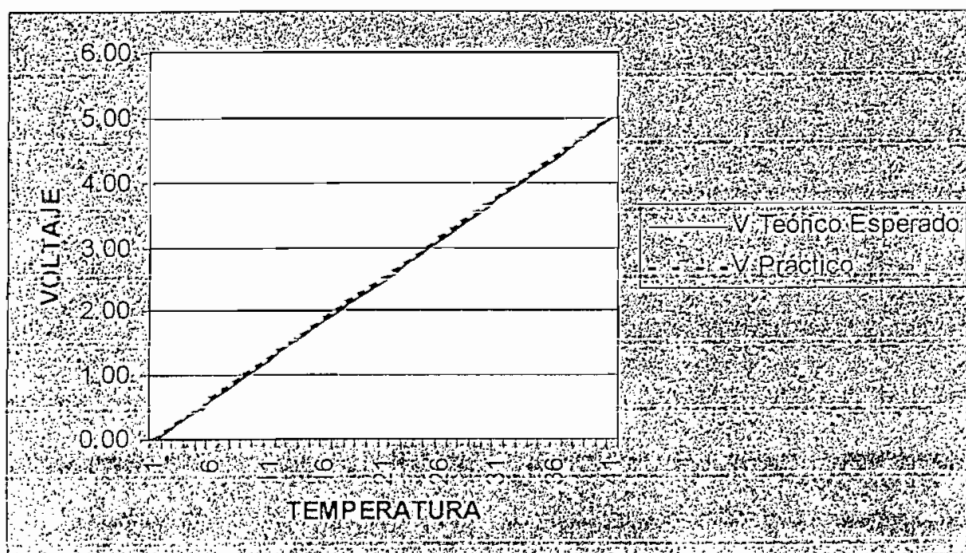


Fig. 3.1 Respuesta de Temperatura

### 3.1.2 Acondicionamiento de Iluminación

En el acondicionamiento de iluminación, se obtiene una respuesta no lineal del sistema, además de que el sensor posee una característica de histéresis, por lo que se decidió no realizar la conversión o equivalencia del voltaje a alguna unidad de medida de iluminación, de esta manera en la interfaz de usuario se mostrará el valor entre 0 y 255. Se debe considerar además, que aparte del divisor de tensión, el circuito de acondicionamiento posee un amplificador, por lo que el valor de iluminación al que se generará los 5 voltios para el microcontrolador, variará de acuerdo a la calibración de un potenciómetro.

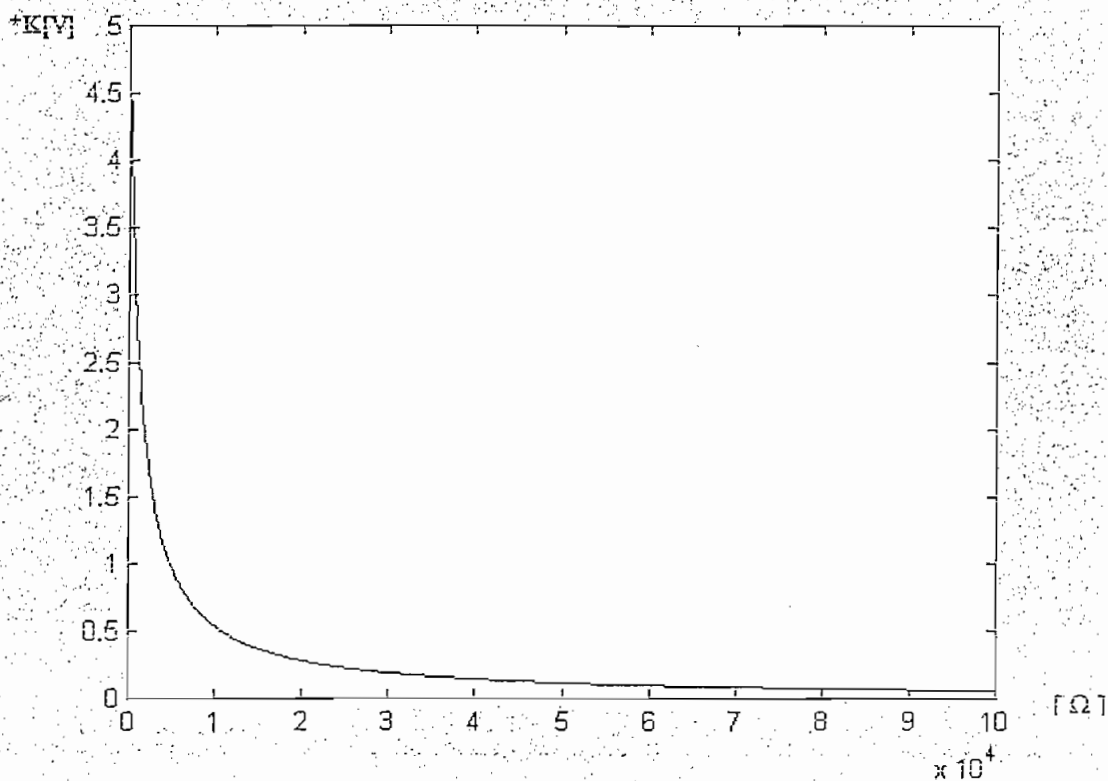


Fig. 3.2 Voltaje de salida del acondicionador respecto a la resistencia de la fotorresistencia.

### **3.1.3 Controlador PI**

El controlador PI, fue de fácil implementación, y se calibró con el método de ensayo y error. Se produjeron resultados satisfactorios en la salida del controlador para cambios bruscos en el set-point.

### **3.1.4 Función Rampa Cosenoidal**

Para generar la rampa cosenoidal, existieron algunos problemas al utilizar operacionales normales; por lo que se utilizaron amplificadores operacionales basados en tecnología JFET. Con los que se obtuvo una forma de onda aceptable, que varía de 0 a 5 V, para que el control de fase directo sea proporcional a la salida del PI.

### **3.1.4 Microcontrolador PIC**

Las pruebas realizadas con el microcontrolador, fueron múltiples, para comprobar que todas las subrutinas funcionaran adecuadamente, es así que se comprobaron las subrutinas de lectura y escritura en la EEPROM de datos, entre otras.

Para el conversor análogo digital, se comprobó que se necesita que las entradas de los voltajes analógicos provengan de un amplificador para acoplar impedancias, y además se calibraron los tiempos de espera para realizar las conversiones.

En relación a la comunicación con el PC, se escogió realizarla con el chip MAX-232, por ser de sencilla su implementación y el poco espacio requerido.

Para comunicarse con la etapa de potencia, se usaron optoacopladores. Los circuitos implementados fueron comprobados para funcionar hasta con 3.5 V

### 3.2 PROTOTIPO COMPLETO

Realizando las pruebas con el prototipo integrado se logró realizar la adquisición de datos y su comunicación con el PC, como se muestra en la Fig.3.3.

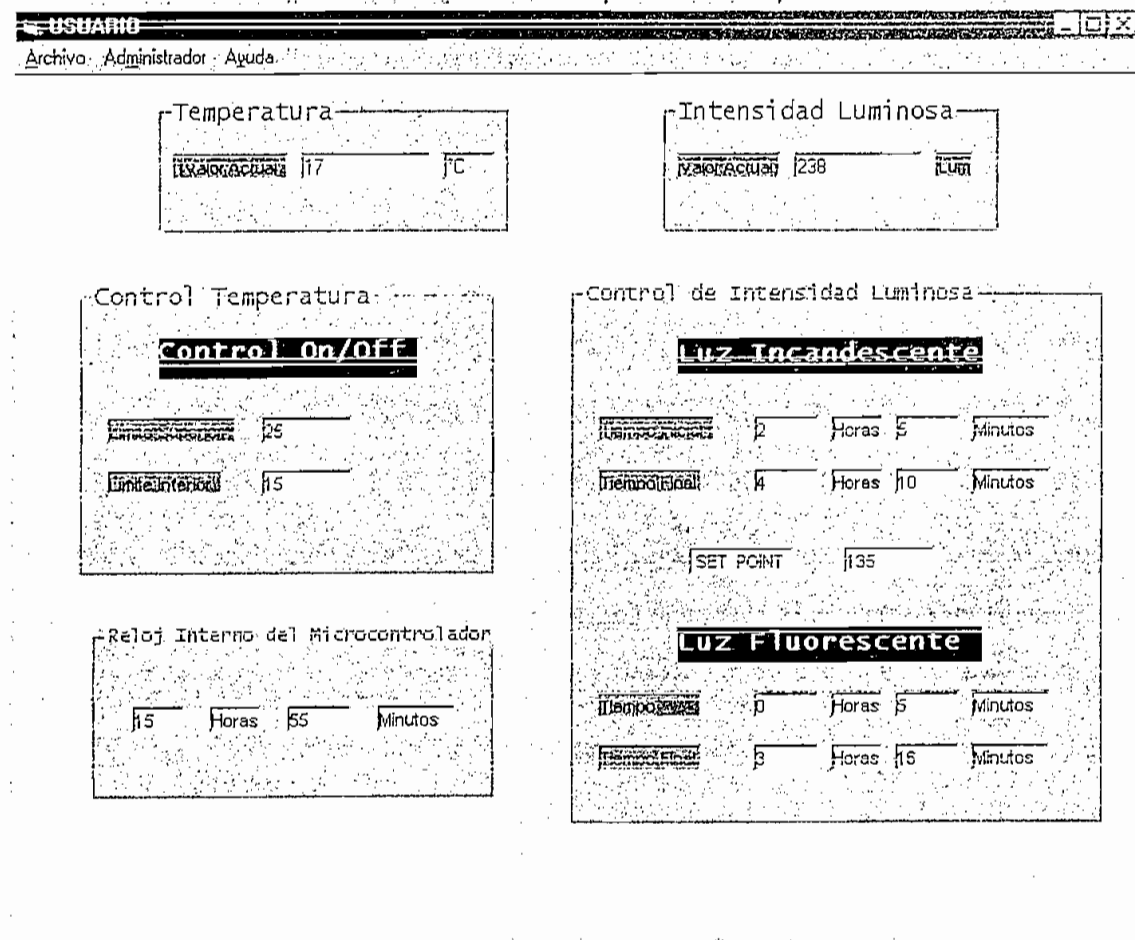


Fig. 3.3 Adquisición de datos

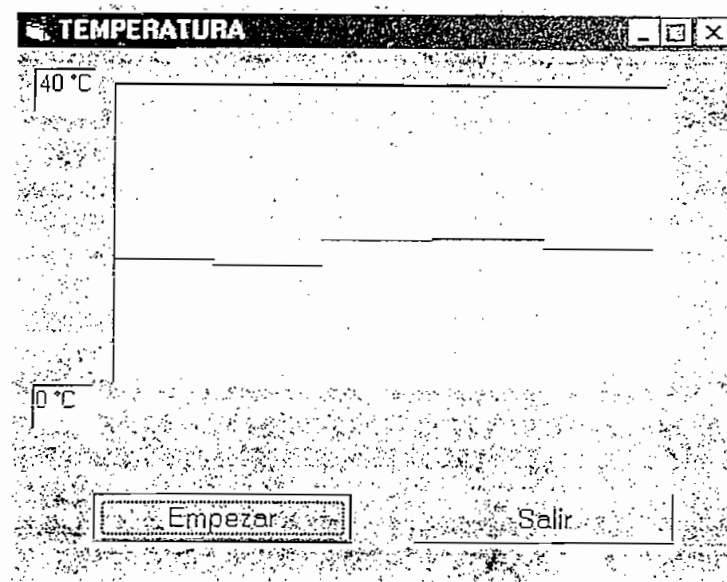


Fig. 3.4 Gráfico de la temperatura

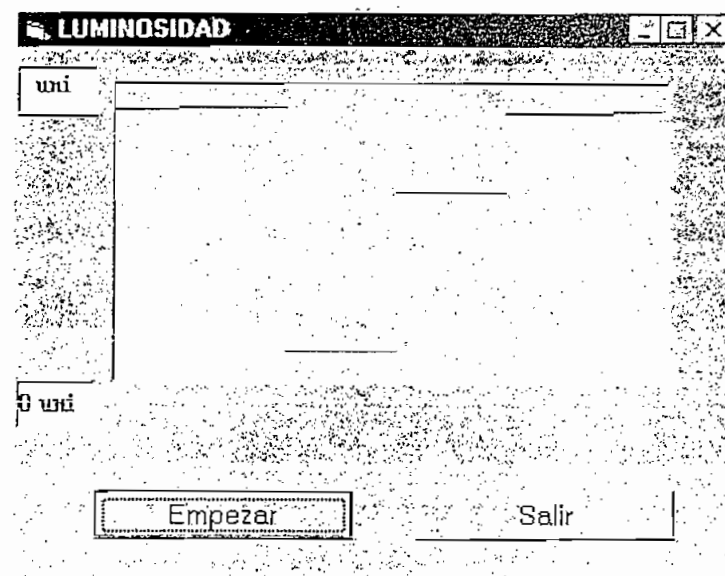


Fig. 3.5 Gráfico de iluminación

Se comprobó además que el prototipo controla satisfactoriamente la temperatura entre los límites seteados por el usuario, los mismos que van de 0 a 40 °C, y la iluminación, de acuerdo a los parámetros determinados.



Finalmente se puede decir que se cuenta con un prototipo que controlará dos variables importantes en el ambiente de un invernadero, como son la temperatura y la intensidad luminosa.

El rango de temperatura es de 0 a 40 °C, el límite intensidad luminosa, es establecido a través de la ganancia proporcionada al amplificador del circuito acondicionador de la misma.

La interfaz con el usuario es amigable, y a través de la misma puede realizarse el control administrador de la planta. El programa genera una base de datos de la temperatura y la iluminación, la misma que puede ser analizada para posteriores investigaciones.

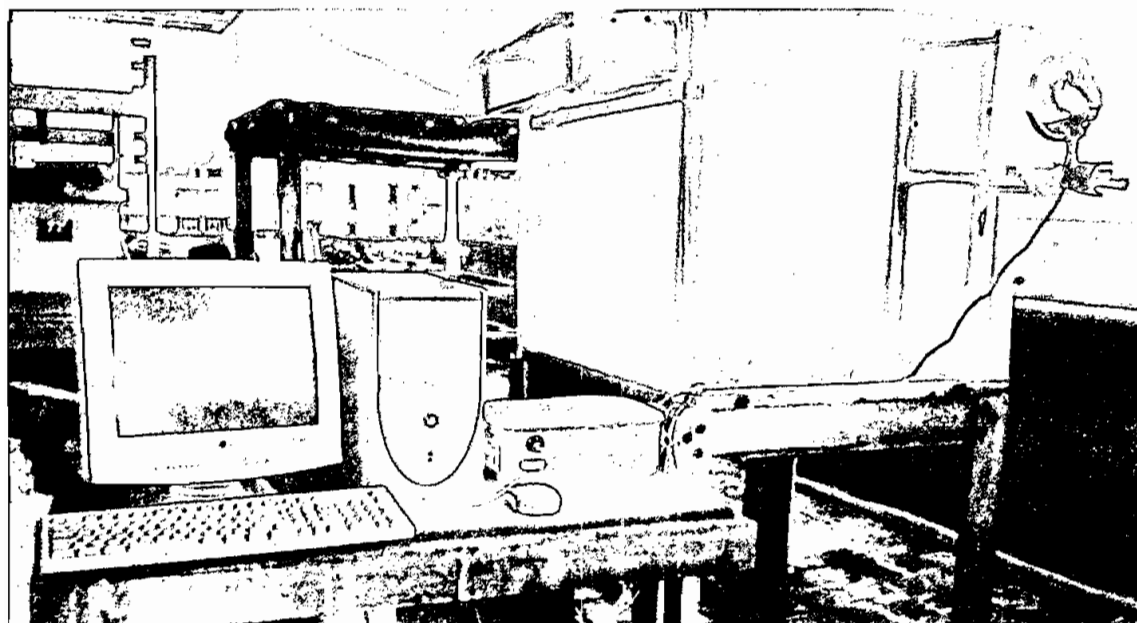


Fig. 3.6 Prototipo Completo

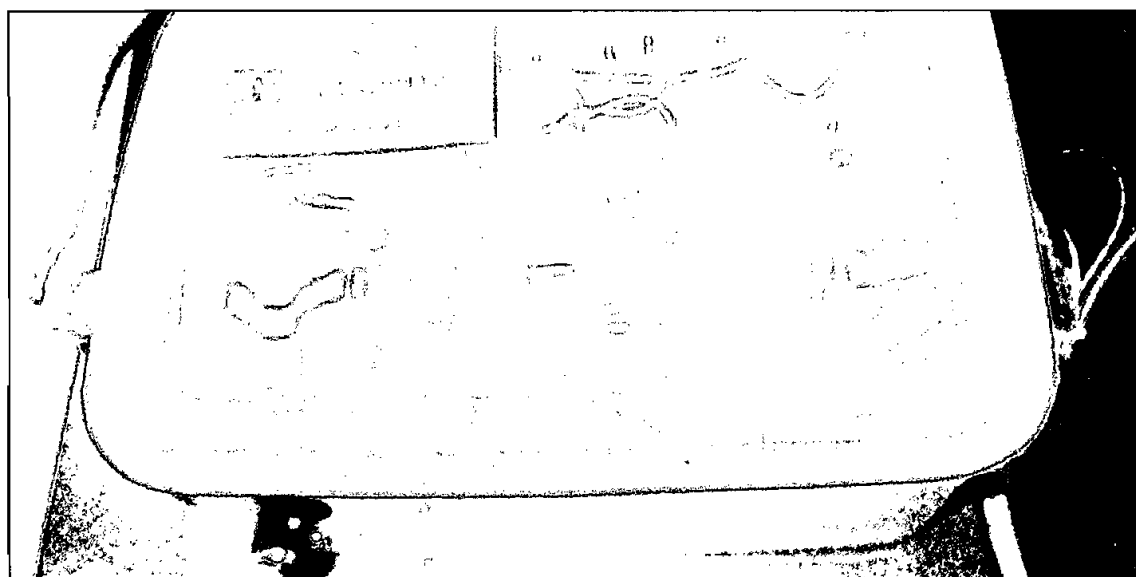


Fig. 3.7 Prototipo ( Hardware de Control)

## CAPITULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El control automático del ambiente de un invernadero, en nuestro país, es un método muy poco aplicado, debido a que la mayor parte del control se lo realiza manualmente, por tanto una razón importante para el uso de un control automatizado del ambiente de un invernadero es el aspecto económico, con el aumento de la producción hasta en un 80%, dato que ha sido proporcionado por invernaderos que ya poseen esta tecnología en nuestro país.

Si bien el desarrollo de la tecnología orientada al control de invernaderos se ha realizado en el exterior, esta ha migrado al Ecuador, la que al ser aplicada se ha encontrado con muy pocas complicaciones, debido a las bondades climáticas existentes.

Si bien, la temperatura y la iluminación, son dos variables muy importantes, cuando se trata de cultivos bajo invernadero, se debe también controlar otras variables como la humedad y el nivel del Anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), las que en su conjunto constituyen el ambiente para el cultivo.

Los sensores de temperatura son de gran utilidad en la industria, por lo que es importante conocer sus características. Uno de los problemas del sensor utilizado en el presente proyecto, es su no linealidad, pero debido a que el rango utilizado es pequeño, el error en el que se incurre es pequeño, además que el tipo de control necesario en un invernadero no requiere un nivel de precisión grande.

La utilización de microcontroladores PIC, tiene en la industria una aplicación muy amplia debido a su gran versatilidad, y fácil programación, como se ha comprobado en el presente proyecto.

El uso del protocolo RS-232, para la comunicación da la posibilidad de que el módulo de control se encuentre alejado (15 mts.) del computador, por lo que se puede aplicar a una plantación real.

Al realizar la interfaz con Microsoft Visual Basic 6.0 se puede apreciar la gran versatilidad que da este sistema al programador debido a su facilidad de código y los ActiveX incluidos para el desarrollo de aplicaciones.

La utilización de un lenguaje de programación de alto nivel bajo ambiente windows, a más de dar la posibilidad de desarrollar una interfaz amigable, da una independencia al programa, debido a que no depende de algún otro programa para su funcionamiento, a excepción de la creación de la base de datos; lo que conlleva que en una aplicación industrial se reducirían los costos por licencias del software.

Al realizar un control en tiempo real, generando el tiempo en el mismo microcontrolador asignado para el control de sistema se incorporan algunos retardos, los que serían de significación si no se contara con una interfaz de usuario que obliga al mismo a tomar el tiempo del computador, por lo que lo más aconsejable es utilizar un RTC (Real Time Clock), en un chip aparte, para evitar estos retardos.

Si la necesidad del sistema es obtener una respuesta lineal en el acondicionamiento de la luminosidad, se recomienda utilizar otro tipo de acondicionamiento de la señal, o cambiar el tipo de sensor. Se puede realizar una tabla de conversión para que el usuario pueda adquirir datos reales de iluminación.

En el control ON-OFF de temperatura se puede observar que el lazo de histéresis dependerá únicamente del programa del microcontrolador y de la sensibilidad del sensor de temperatura.

Para realizar el acoplamiento del circuito de control con el de potencia se utilizaron optoacopladores, los mismos que dan la seguridad de que no se filtrarán voltajes parásitos al microcontrolador.

Al utilizar un optotriac para acoplar el control con el elemento de potencia de la iluminación incandescente, en este caso un triac (TIC226), restringe el control de la misma, porque debido a los elementos necesarios para el disparo del elemento de potencia, evitan que se pueda disparar desde 0°. Por lo que si se necesita mayor precisión en este control se recomienda cambiar el circuito de acoplamiento.

Se puede ampliar las funcionalidades de este módulo, debido a que en la tarjeta de control se poseen algunas entradas/salidas libres

El prototipo logra realizar el control de las variables propuestas, como son la temperatura y la intensidad luminosa.

El control administrador a través del PC es amigable y eficiente, por lo que ayuda al usuario a relacionarse con el sistema.

El campo de la automatización de invernaderos es muy apasionante, porque no solo trata de aumentar la productividad de los cultivos, sino de mejorar la competitividad de los mismos. Es importante seguir con este tipo de estudios, para poder dar al país otra herramienta más para lograr un cambio de conciencia, donde lo importante sea el bienestar del ser humano y no solo el aumento de la producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Matallana A., Montero J., *Invernaderos: Diseño, Contruccion Y Ambientacion*, Ediciones Mundi-Prensa, Segunda Edición, España 2001
  
- [2] *Biblioteca De La Agricultura* , Edit. IDEA BOOKS, Segunda Edición, España 1998
  
- [3] Toovey S.W., *Invernaderos Comerciales: Construcción y Caiefacción*, Editorial Manuales de Técnica, Acribia, 1982
  
- [4] Creus Solé Antonio, *Instrumentación Industrial*, Alfaomega Grupo Editor, Quinta Edición, México, 1995
  
- [5] Alejandro Parra D., *¿Que Son Y Como Funcionan Las Termocupias?* <http://rve.virtualave.net/Secciones/artmes/artmes102000/artmes.htm>
  
- [6] Maurizio Gianandrea, *Educación a las Técnicas de Luz*, <http://www.lighteducation.com/spanish>
  
- [7] Briones Saúl, *Electrónica Industrial*, Departamento De Electrónica Y Control, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional, 1987.
  
- [8] Angulo José, Angulo Ignacio, *Microcontroladores <<Pic>> Diseño Practico De Aplicaciones*, Edit. McGraw-Hill, España1997
  
- [9] Data Sheet, *PIC16F87X*, <http://www.microchip.com>

[10] Data Sheet , MAXIM +5V-Powered Multichanel RS-232 Drivers/Receivers, <http://maxim-ic.com/>

[11] Microsoft Corporation, *MSDN Library Visual Studio 6.0*

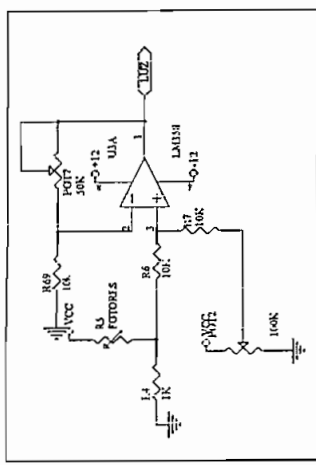
## ANEXOS



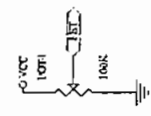
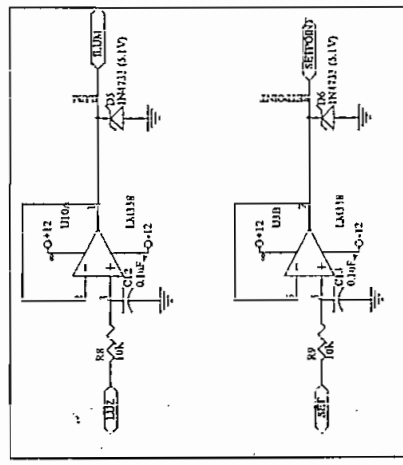
## ANEXO A



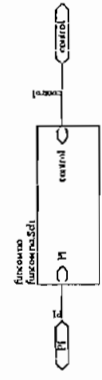
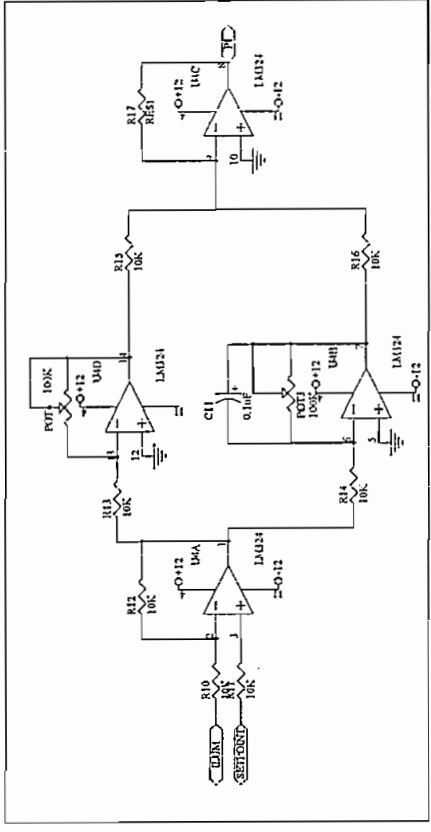
### ACIONIONAMIENTO DE LUMINACION



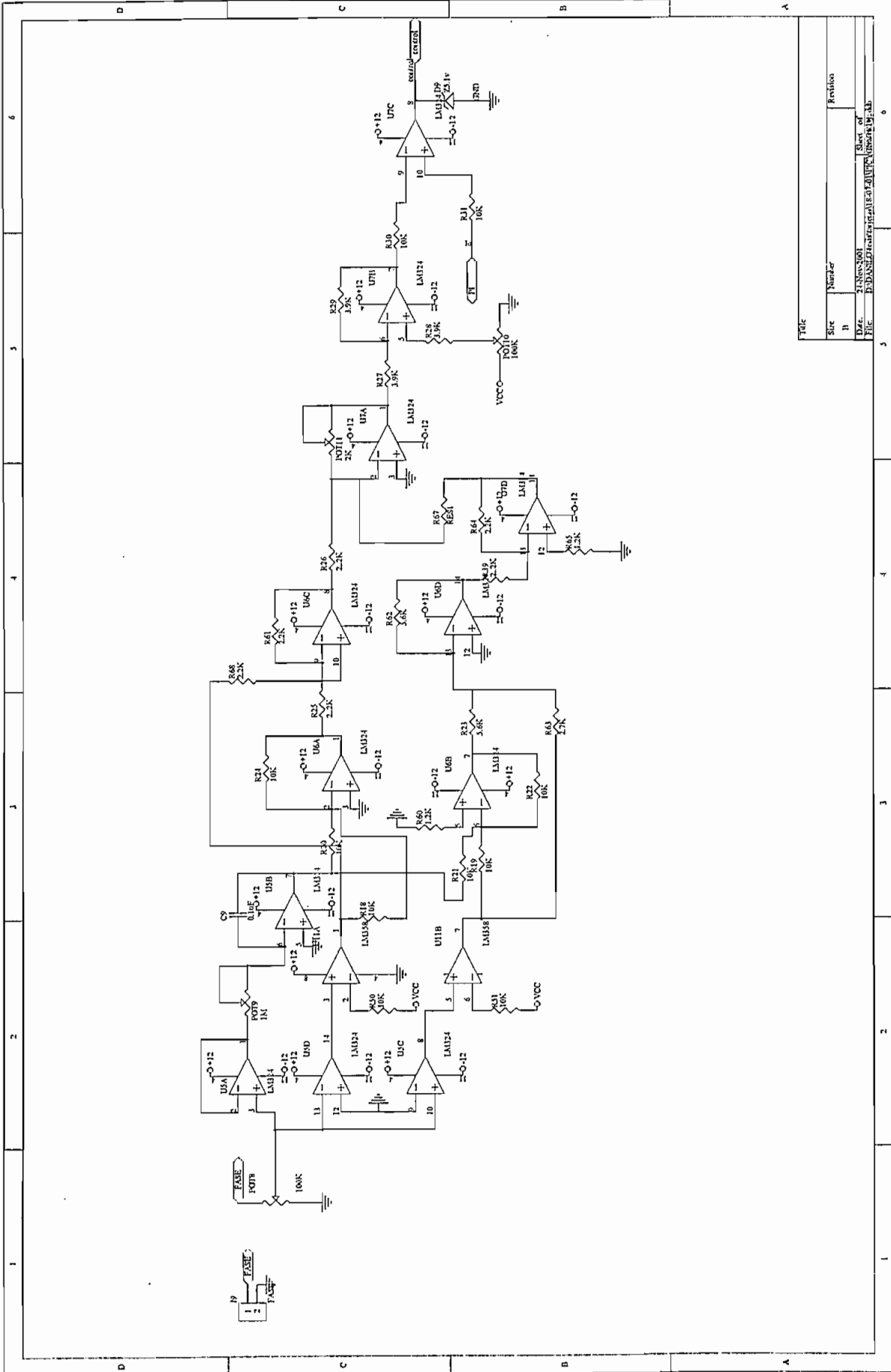
### ACIONIONAMIENTO para Camarón



### CONTROL PI

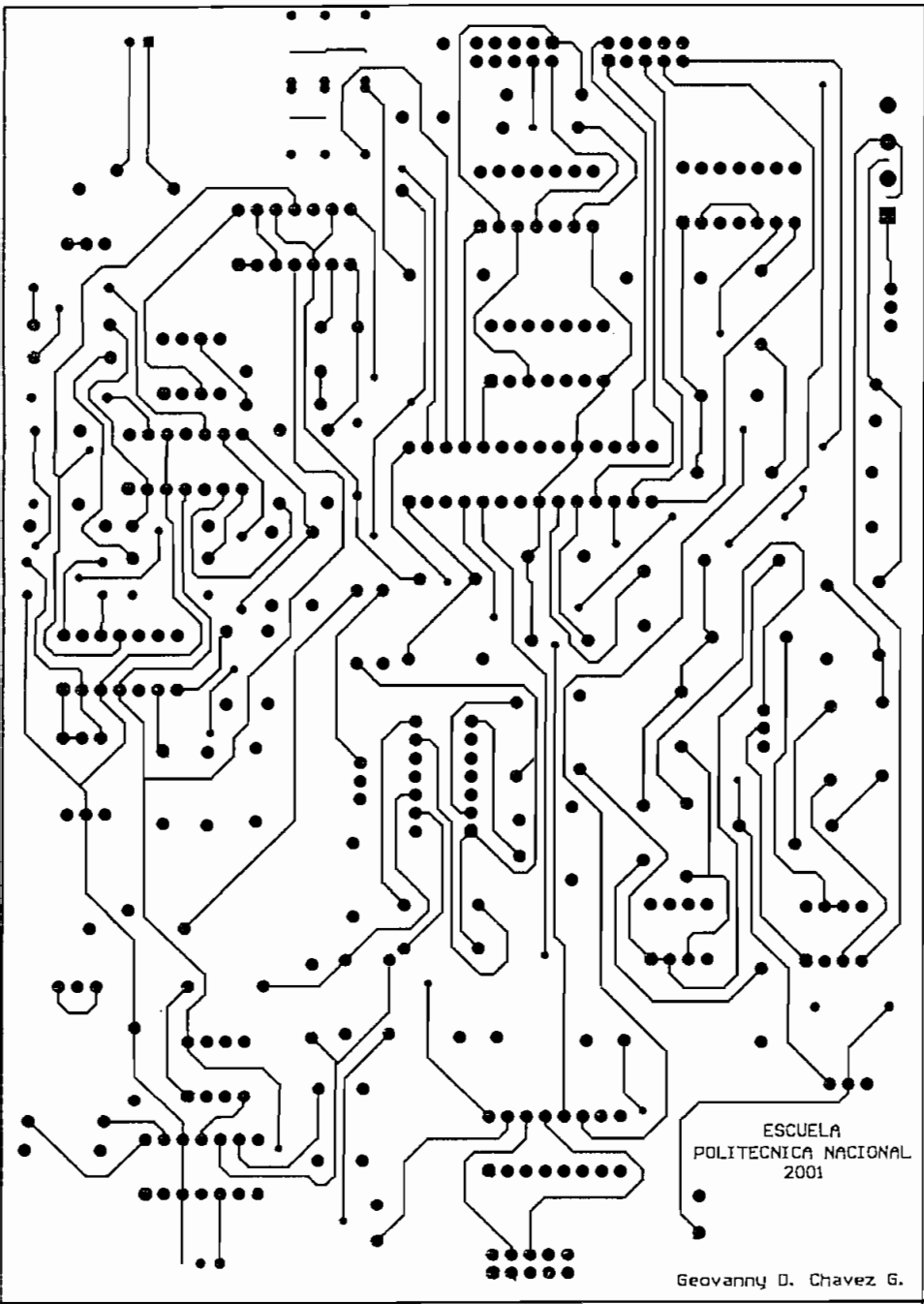


Título		Revision	
Serie	Nº Hoja		
B			
Dib.:	ELABORADO:	Sheet 2 of	
Rev.:	OTRO:	Sheet 2 of 2	



Title		Revision	
Size	Number		
b			
Date:	21 Nov 2001	Sheet of	6
File:	D:\DATA\Header\Header\LAU38\LAU38.DWG	Sheet of	6



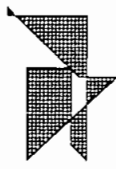


1921.26 (mil)

7086.614 (mil)

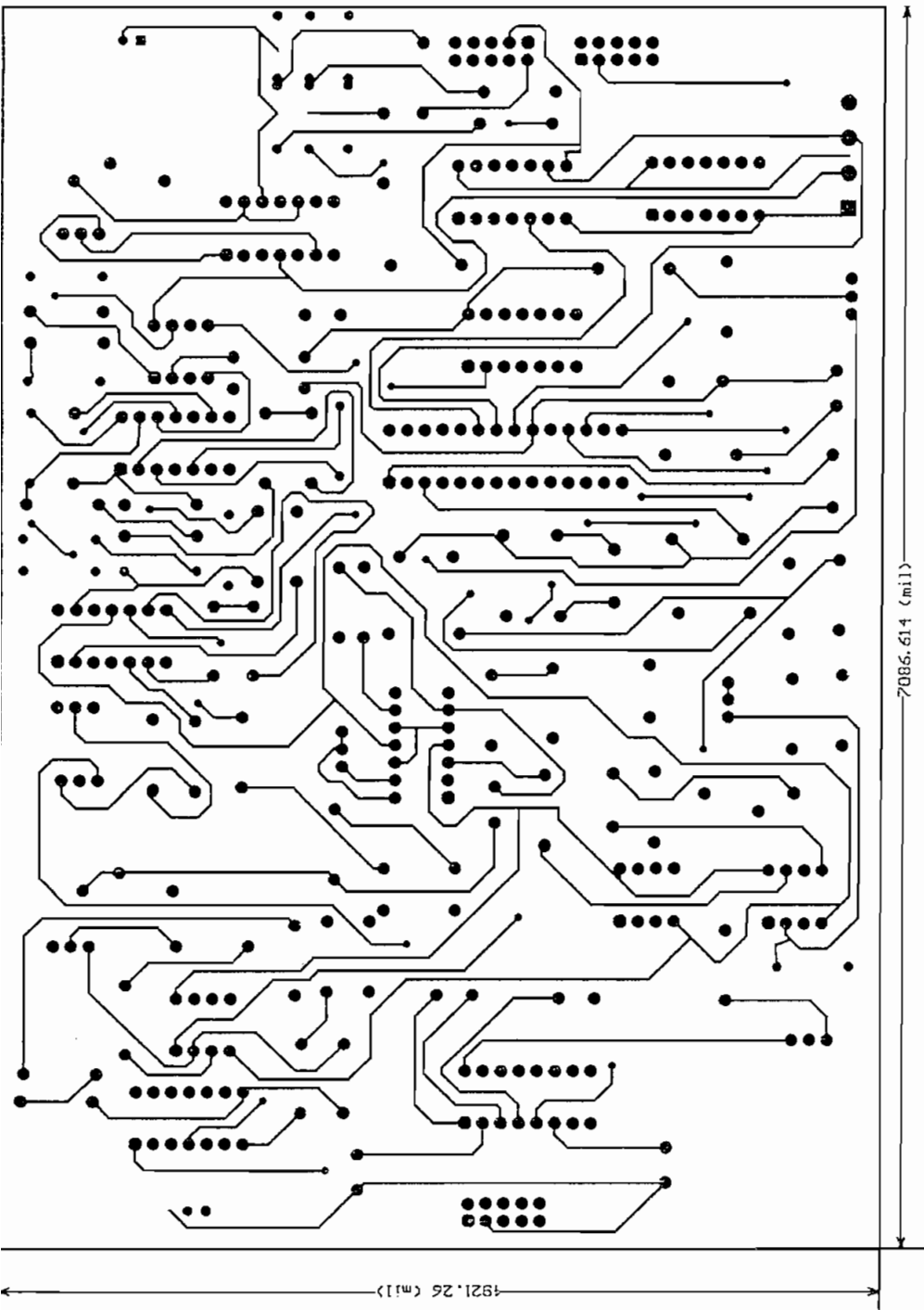
ESCUELA  
POLITECNICA NACIONAL  
2001


Geovanny D. Chavez G.

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL			
ENGINEER Geovanny D. Chavez G.	TITLE CONTROL DE INVERNADEROS	REV: 01	DATE: 24-Nov-2001
ENGINEER PHONE	PART NO: CONTROL	LAYER: Multi Layer	
FILE NAME: control.PCB	DESIGNER: .GTL		

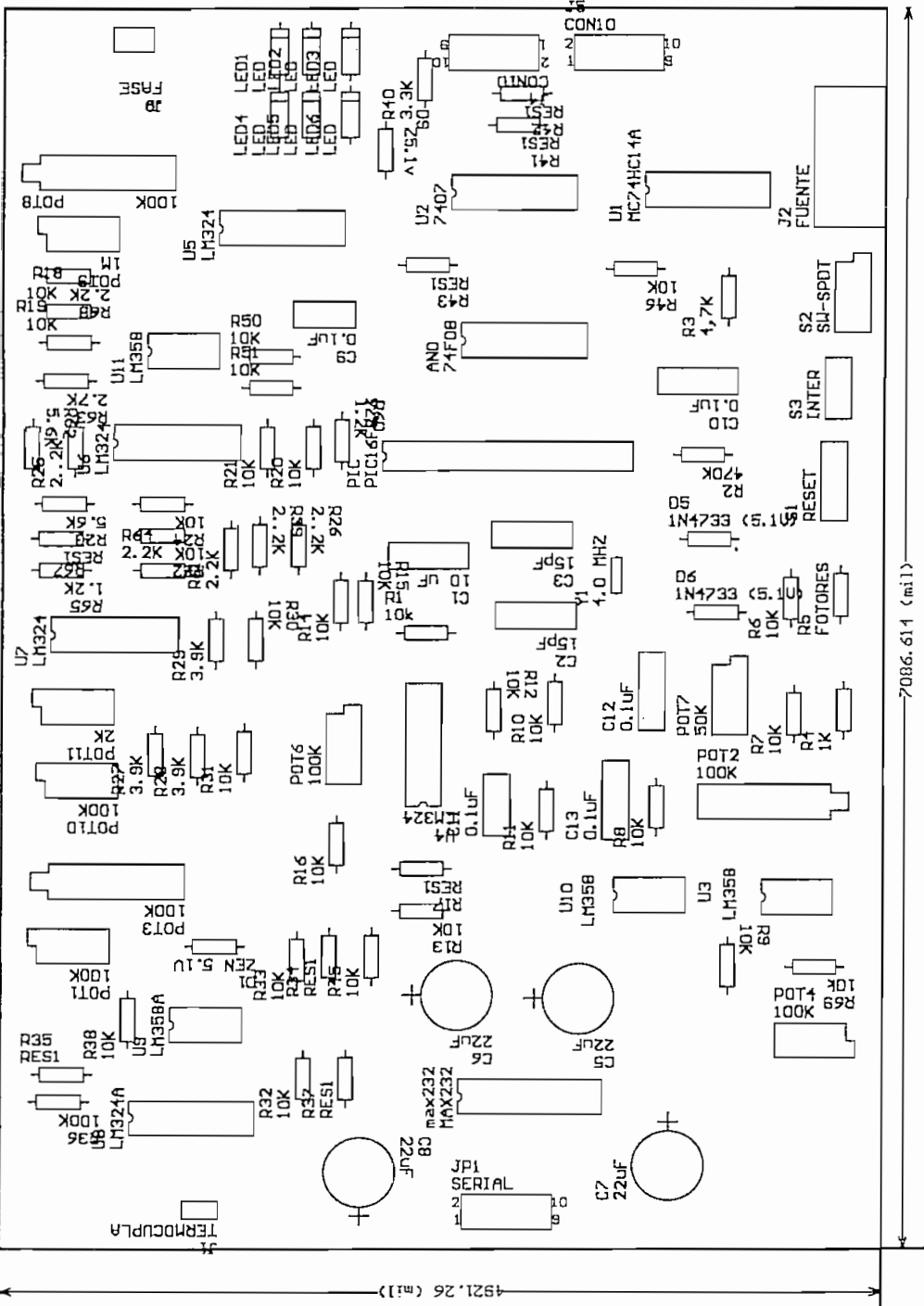


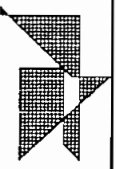
X  
Y



		ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
ENGINEER Geovanny D. Chavez	TITLE CONTROL DE INVERNADEROS	PART NO: CONTROL	DATE 24-Nov-2001
ENGINEER PHONE	PART NO: CONTROL	REV: 01	DATE 24-Nov-2001
FILE NAME: control.PCB		LAYER: Multi Layer	
FILE NAME: control.PCB		EXTENSION: .GBL	

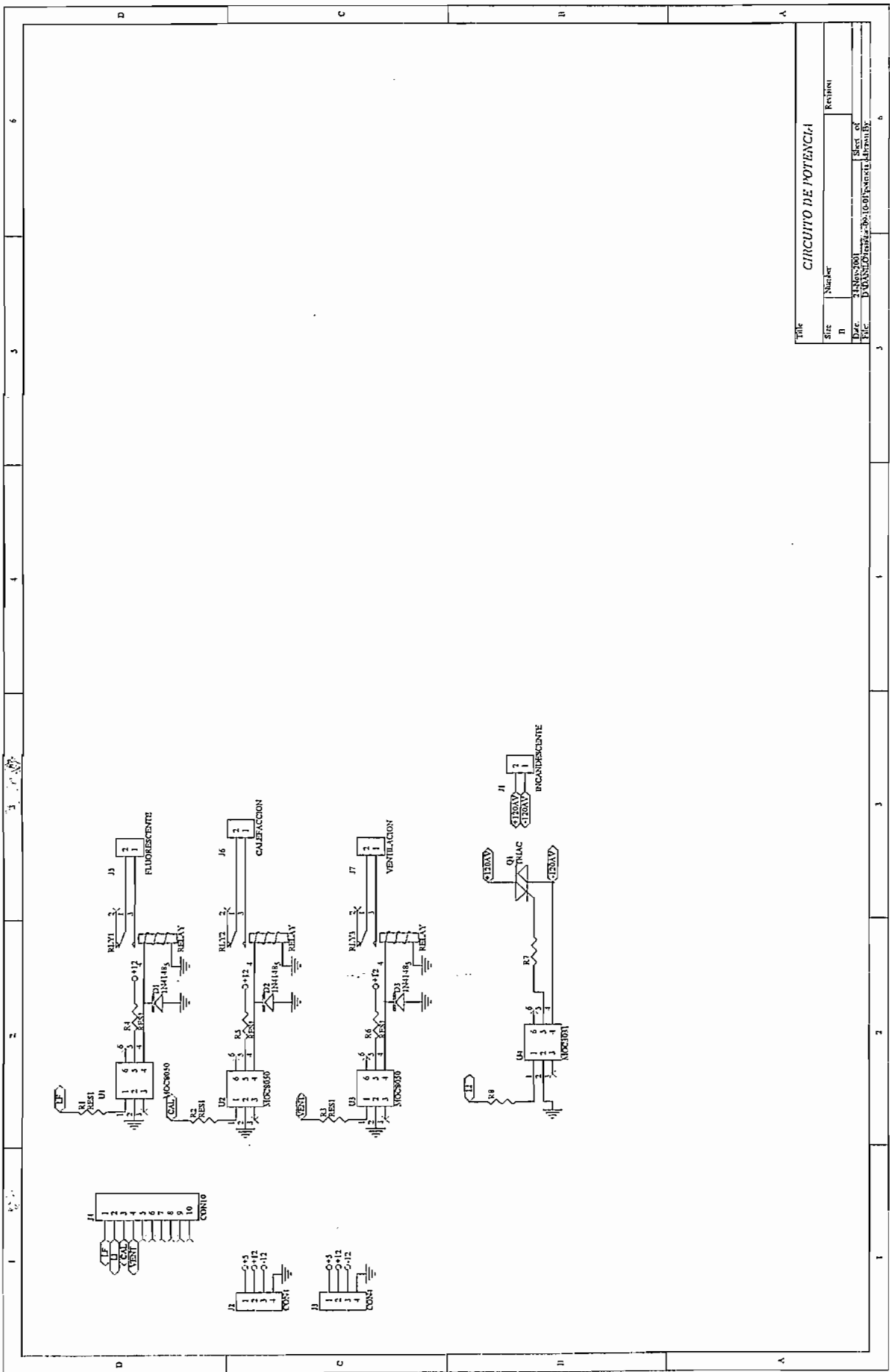




ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL			
ENGINEER Geovanny D. Chavez	TITLE Geovanny D. Chavez	CONTROL DE INVERNADEROS	
ENGINEER	PART NO:	CONTROL	DATE: 24-Nov-2001
PHONE	REV: 01	LAYER:	DESIGNER: GTO
FILE NAME: control.PCB			

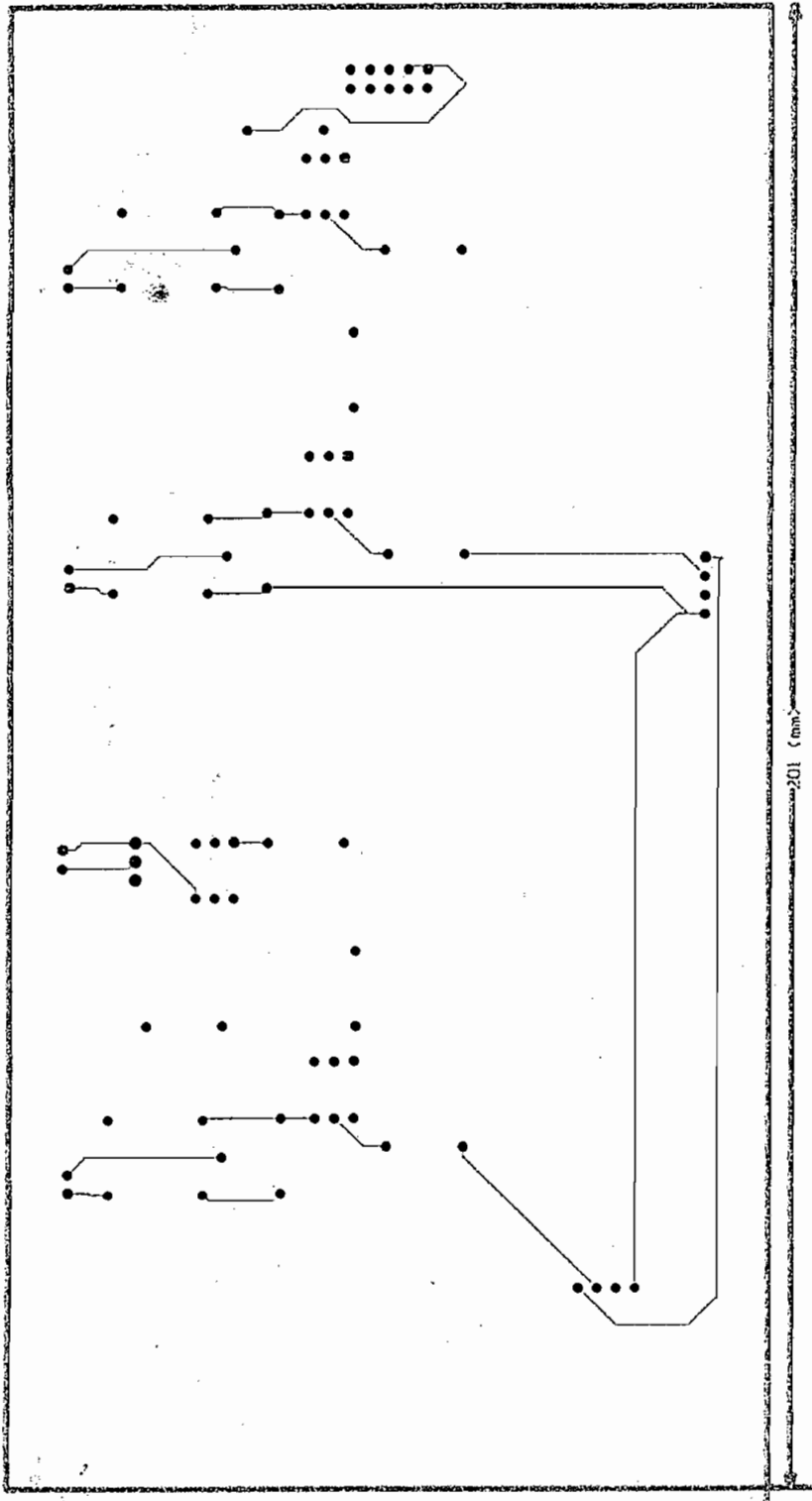






Title	
Size	Number
ii	Revision
Doc.	11 Nov 2001
File	D:\MANEJO\mca-20-10-01\mca-20-10-01.dwg
	Sheet of
	4

CIRCUITO DE POTENCIA

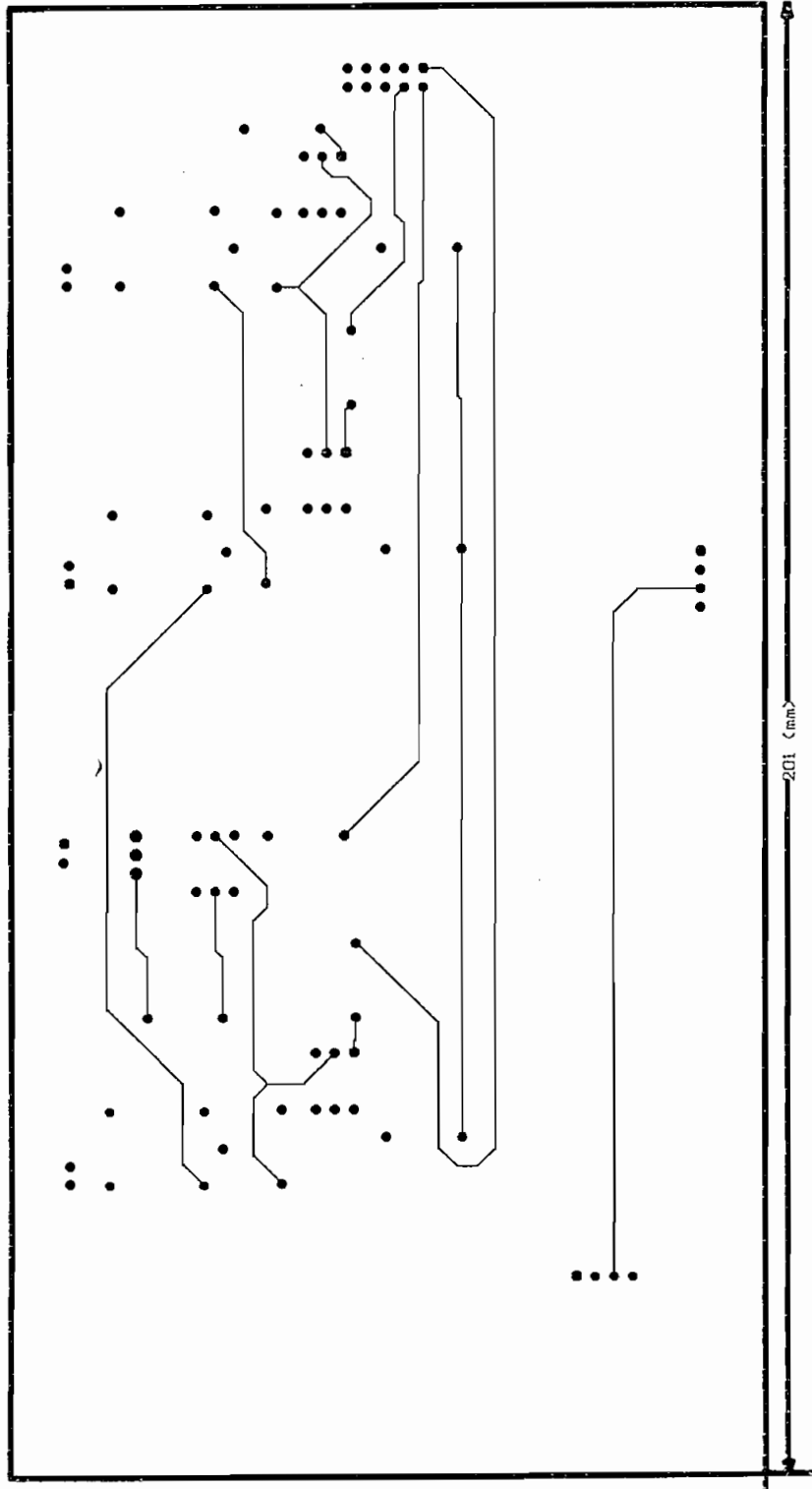


201 (mm)

PLACE LOGO HERE		DATE: 24-Nov-2001		DESIGNER: CERSER	
TITLE: POTENCIA		PART NO: 01		LAYER: Multi Layer	
DESIGNER: Donato Ch vez		PART NO:		FILE NAME: POTENCIA.PCB	
DATE:		REV:		LAYER: .GBL	



L X

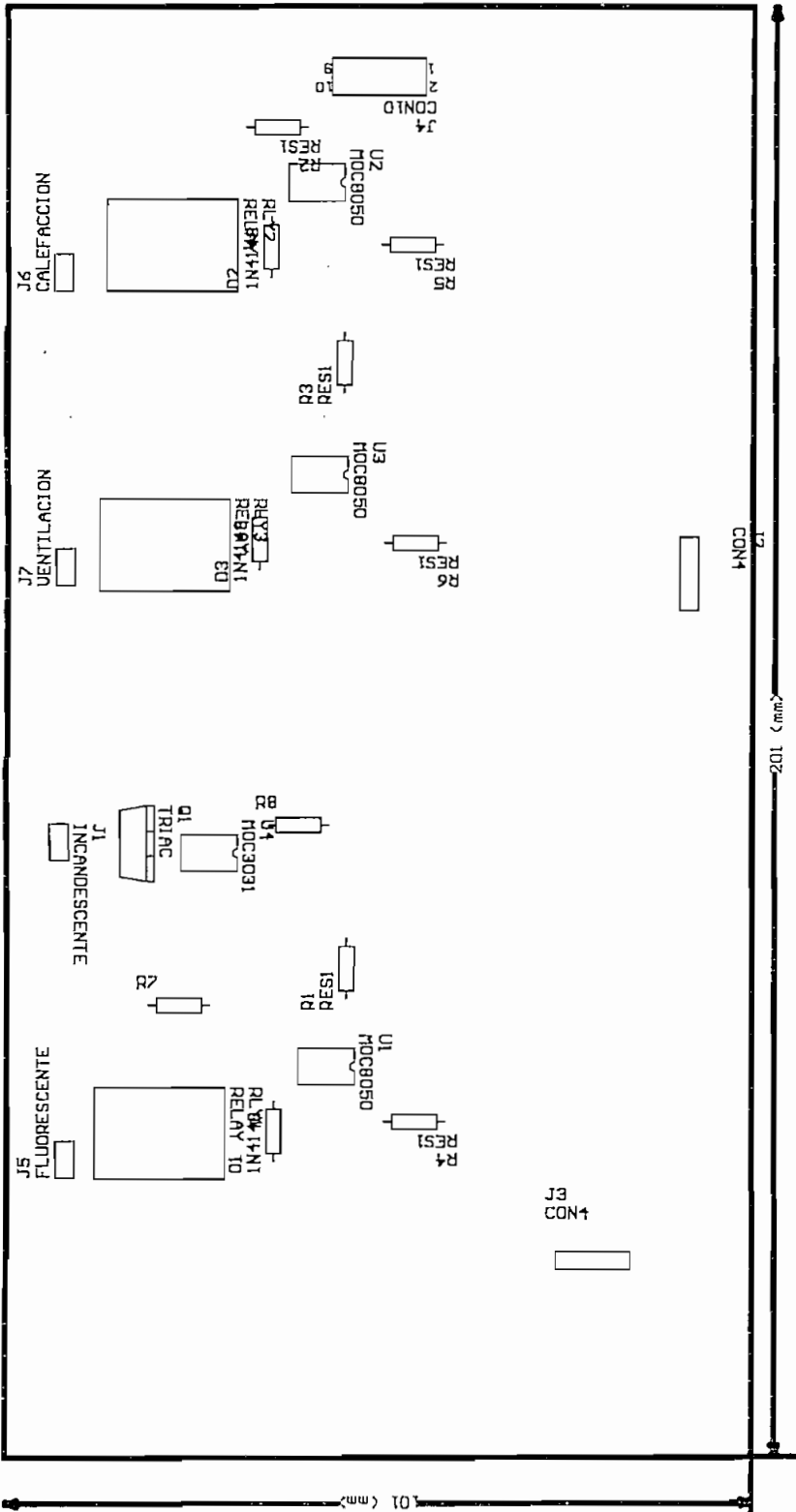


201 (mm)

201 (mm)

PLACE LOGO HERE		DATE: 24-Nov-2001	
TITLE: POTENCIA		REV: 01	LAYER: Multi_Layer
ENGINEER: Donko Ch vez	PART NO:	FILE NAME: POTENCIA.PCB	
PHDSE:		GERBER: .GTL	





ENGINEER: Dario Ch vez PHONE:	TITLE: POTENCIA	PART NO:	DATE: 24-Nov-2001	CENTER: .GTO
ENGINEER: PHONE:	REV: 01	LAYER:	FILE NAME: POTENCIA.PCB	



X

## ANEXO B



MICROCHIP

# PIC16F87X

## 28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

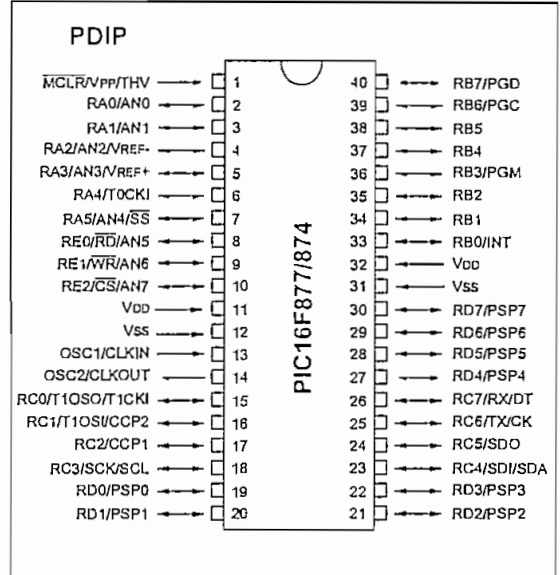
### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

### Microcontroller Core Features:

- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM data memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and  
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low-power, high-speed CMOS FLASH/EEPROM  
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two  
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram

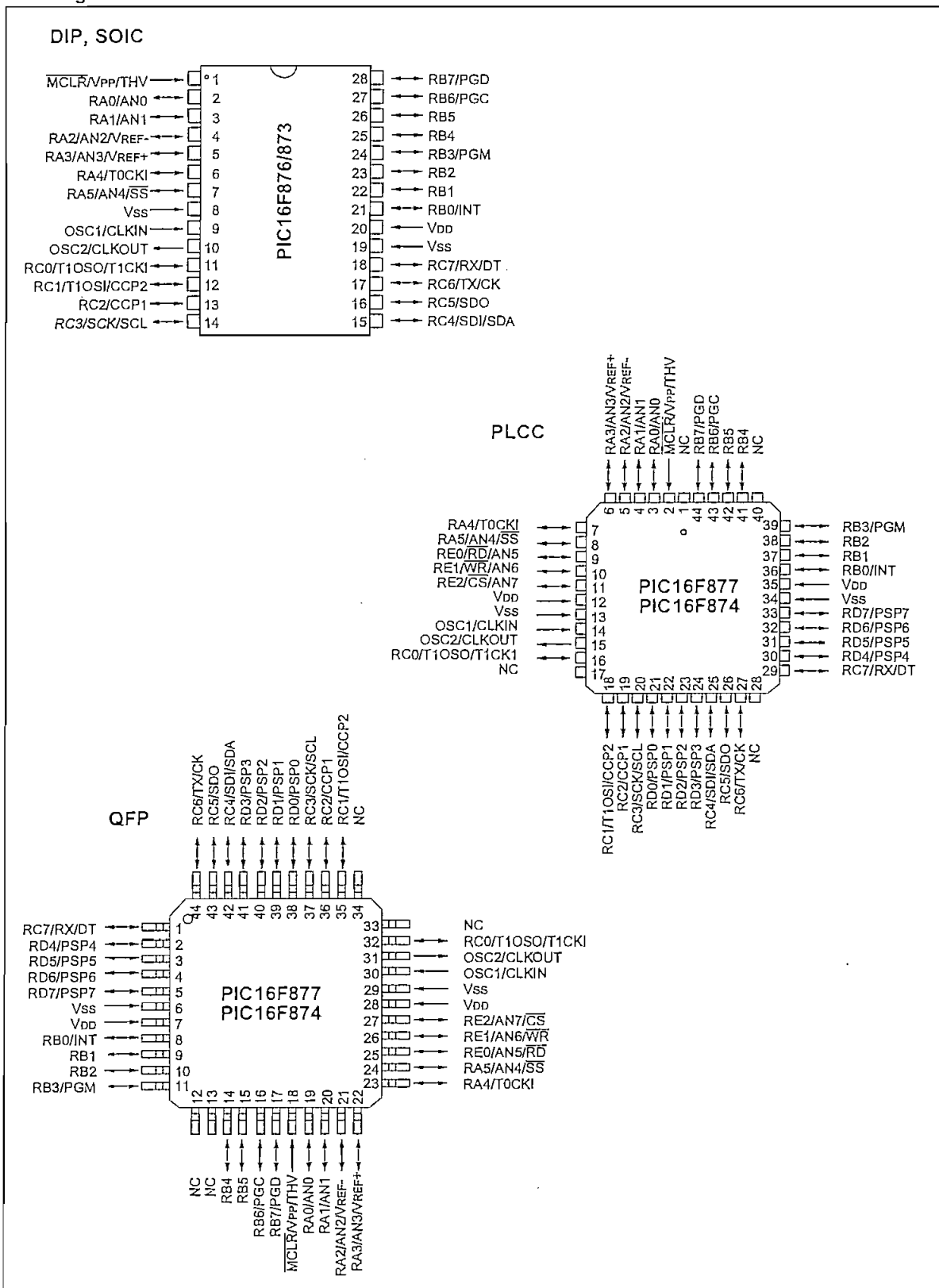


### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during sleep via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master  
Mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with  
external  $\overline{RD}$ ,  $\overline{WR}$  and  $\overline{CS}$  controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)

# PIC16F87X

## Pin Diagrams



Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions



## 15.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias .....	-55 to +125°C
Storage temperature .....	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to V <sub>SS</sub> (except V <sub>DD</sub> , $\overline{\text{MCLR}}$ , and RA4).....	-0.3V to (V <sub>DD</sub> + 0.3V)
Voltage on V <sub>DD</sub> with respect to V <sub>SS</sub> .....	-0.3 to +7.5V
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to V <sub>SS</sub> (Note 2).....	0 to +14V
Voltage on RA4 with respect to V <sub>SS</sub> .....	0 to +8.5V
Total power dissipation (Note 1).....	1.0W
Maximum current out of V <sub>SS</sub> pin .....	300 mA
Maximum current into V <sub>DD</sub> pin .....	250 mA
Input clamp current, I <sub>IK</sub> (V <sub>I</sub> < 0 or V <sub>I</sub> > V <sub>DD</sub> ).....	± 20 mA
Output clamp current, I <sub>OK</sub> (V <sub>O</sub> < 0 or V <sub>O</sub> > V <sub>DD</sub> ) .....	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin .....	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3).....	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB, and PORTE (combined) (Note 3) .....	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (combined) (Note 3) .....	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (combined) (Note 3).....	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows:  $P_{dis} = V_{DD} \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

2: Voltage spikes below V<sub>SS</sub> at the  $\overline{\text{MCLR}}$  pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the  $\overline{\text{MCLR}}$  pin, rather than pulling this pin directly to V<sub>SS</sub>.

3: PORTD and PORTE are not implemented on the 28-pin devices.

† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

# PIC16F87X

FIGURE 15-1: PIC16FXXX-20 VOLTAGE-FREQUENCY GRAPH

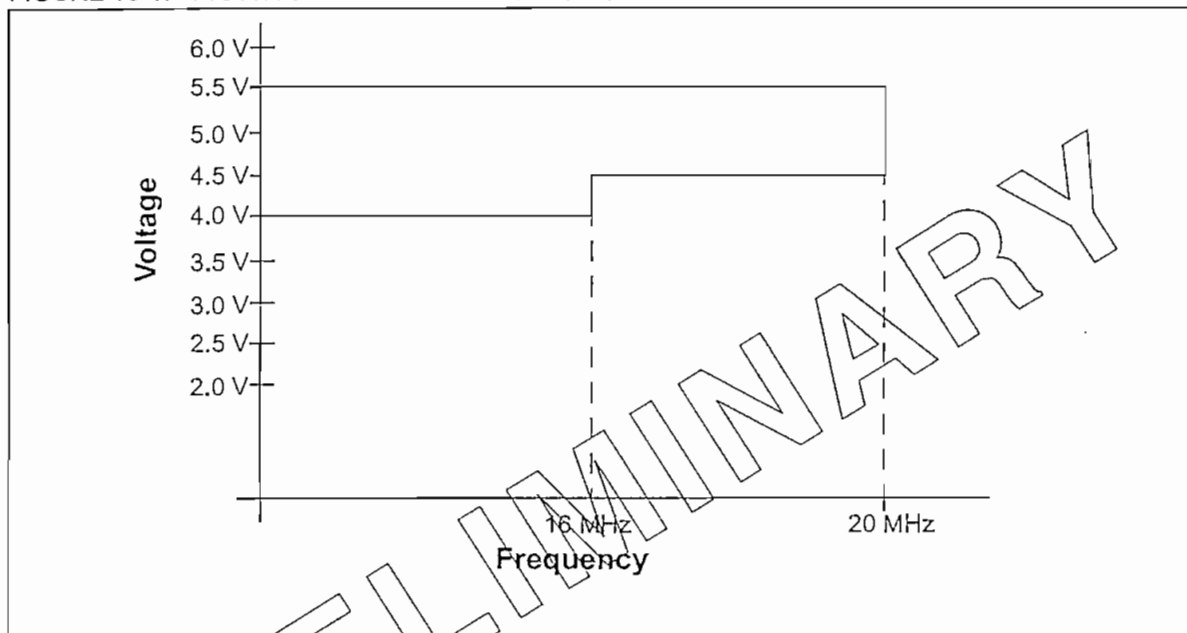


FIGURE 15-2: PIC16LFXXX-04 VOLTAGE-FREQUENCY GRAPH

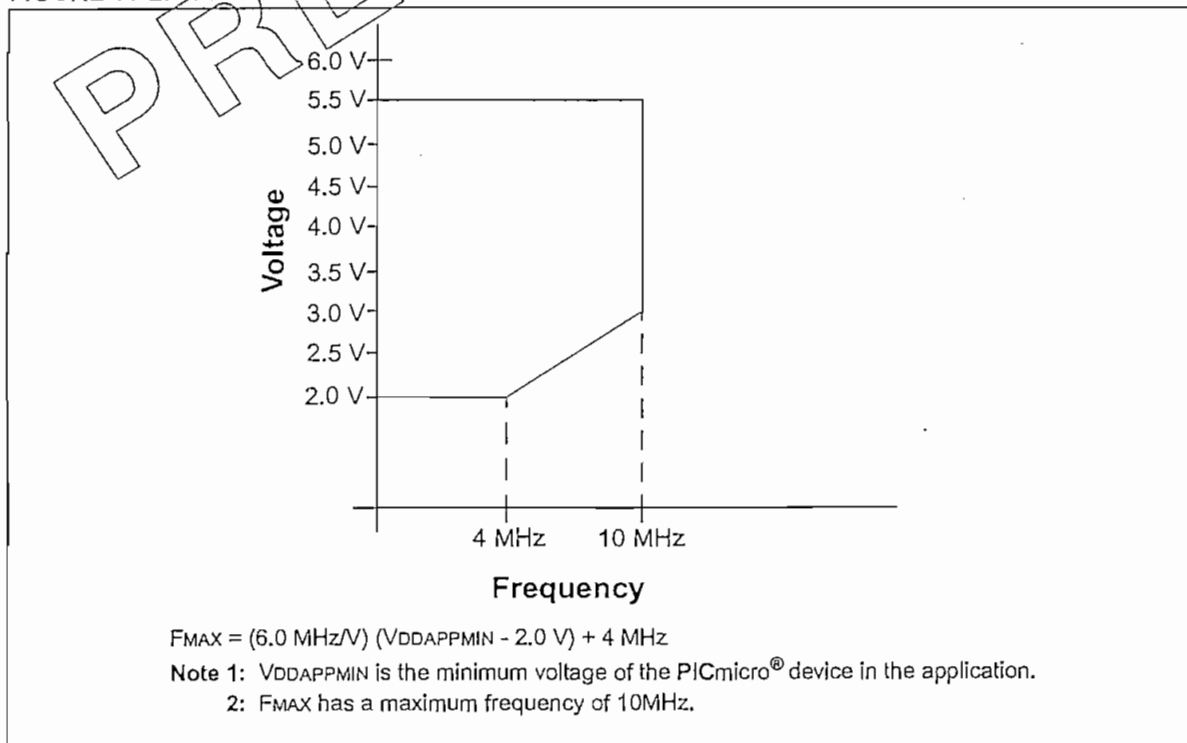
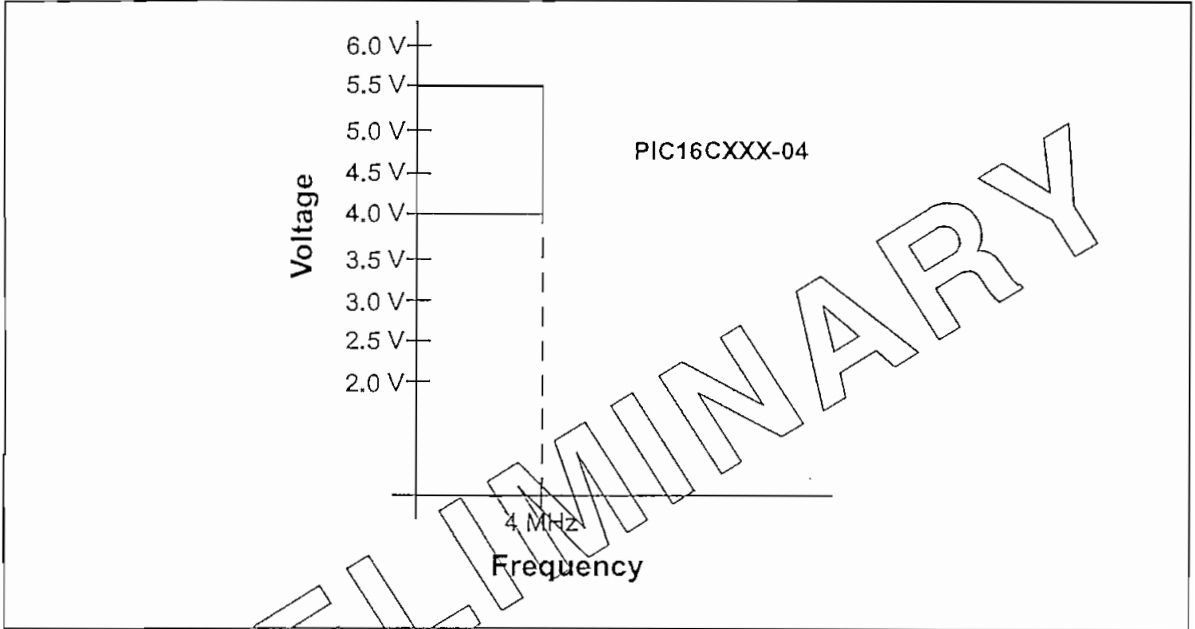


FIGURE 15-3: PIC16FXXX-04 VOLTAGE-FREQUENCY GRAPH



PRELIMINARY

# PIC16F87X

## 15.1 DC Characteristics: PIC16F873/874/876/877-04 (Commercial, Industrial) PIC16F873/874/876/877-20 (Commercial, Industrial)

DC CHARACTERISTICS		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial and $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for commercial					
Param No.	Characteristic	Sym	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D001 D001A	Supply Voltage	V <sub>DD</sub>	4.0 4.5 V <sub>BOR</sub> *	- - -	5.5 5.5 5.5	V V V	XT, RC and LP osc configuration HS osc configuration BOR enabled, F <sub>max</sub> = 14MHz (Note 7)
D002*	RAM Data Retention Voltage (Note 1)	V <sub>DR</sub>	-	1.5	-	V	
D003	V <sub>DD</sub> start voltage to ensure internal Power-on Reset signal	V <sub>POR</sub>	-	V <sub>SS</sub>	-	V	See section on Power-on Reset for details
D004*	V <sub>DD</sub> rise rate to ensure internal Power-on Reset signal	SV <sub>DD</sub>	0.05	-	-	V/ms	See section on Power-on Reset for details
D005	Brown-out Reset Voltage	V <sub>BOR</sub>	3.7	4.0	4.35	V	BODEN bit in configuration word enabled
D010 D013	Supply Current (Note 2,5)	I <sub>DD</sub>	-	1.6 7	4 15	mA mA	XT, RC osc configuration F <sub>osc</sub> = 4 MHz, V <sub>DD</sub> = 5.5V (Note 4) HS osc configuration F <sub>osc</sub> = 20 MHz, V <sub>DD</sub> = 5.5V
D015*	Brown-out Reset Current (Note 6)	ΔI <sub>BOR</sub>	-	85	200	μA	BOR enabled V <sub>DD</sub> = 5.0V
D020 D021 D021A	Power-down Current (Note 3,5)	I <sub>PD</sub>	-	10.5 1.5 1.5	42 16 19	μA μA μA	V <sub>DD</sub> = 4.0V, WDT enabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$ V <sub>DD</sub> = 4.0V, WDT disabled, $-0^{\circ}\text{C}$ to $+70^{\circ}\text{C}$ V <sub>DD</sub> = 4.0V, WDT disabled, $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
D023*	Brown-out Reset Current (Note 6)	ΔI <sub>BOR</sub>	-	85	200	μA	BOR enabled V <sub>DD</sub> = 5.0V

Legend: \* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

**Note 1:** This is the limit to which V<sub>DD</sub> can be lowered without losing RAM data.

**2:** The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors such as I/O pin loading and switching rate, oscillator type, internal code execution pattern and temperature also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all I<sub>DD</sub> measurements in active operation mode are:

OSC1 = external square wave, from rail to rail; all I/O pins tristated, pulled to V<sub>DD</sub>

MCLR = V<sub>DD</sub>; WDT enabled/disabled as specified.

**3:** The power-down current in SLEEP mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in SLEEP mode, with all I/O pins in hi-impedance state and tied to V<sub>DD</sub> and V<sub>SS</sub>.

**4:** For RC osc configuration, current through R<sub>ext</sub> is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula  $I_r = V_{DD}/2R_{ext}$  (mA) with R<sub>ext</sub> in kOhm.

**5:** Timer1 oscillator (when enabled) adds approximately 20 μA to the specification. This value is from characterization and is for design guidance only. This is not tested.

**6:** The Δ current is the additional current consumed when this peripheral is enabled. This current should be added to the base I<sub>DD</sub> or I<sub>PD</sub> measurement.

**7:** When BOR is enabled, the device will operate correctly until the V<sub>BOR</sub> voltage trip point is reached.

Standard Operating Conditions (unless otherwise stated)							
DC CHARACTERISTICS							
Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for industrial and $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for commercial							
Operating voltage $V_{DD}$ range as described in DC spec Section 15.1 and Section 15.2.							
Param No.	Characteristic	Sym	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D090	Output High Voltage I/O ports (Note 3)	$V_{OH}$	$V_{DD} - 0.7$	-	-	V	$I_{OH} = -3.0\text{ mA}$ , $V_{DD} = 4.5\text{V}$ , $-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
D092	OSC2/CLKOUT (RC osc config)		$V_{DD} - 0.7$	-	-	V	
D150*	Open-Drain High Voltage	$V_{OD}$	-	-	8.5	V	RA4 pin.
<b>Capacitive Loading Specs on Output Pins</b>							
D100	OSC2 pin	$C_{osc2}$	-	-	15	pF	In XT, HS and LP modes when external clock is used to drive OSC1.
D101	All I/O pins and OSC2 (in RC mode) SCL, SDA in I <sup>2</sup> C mode	$C_{IO}$	-	-	50	pF	
D102		$C_B$	-	-	400	pF	
<b>Data EEPROM Memory</b>							
D120	Endurance	$E_D$	100K	-	-	E/W	25°C at 5V
D121	$V_{DD}$ for read/write	$V_{DRW}$	$V_{min}$	-	5.5	V	Using EECON to read/write $V_{min}$ = min operating voltage
D122	Erase/write cycle time	$T_{DEW}$	-	4	8	ms	
<b>Program FLASH Memory</b>							
D130	Endurance	$E_P$	1000	-	-	E/W	25°C at 5V
D131	$V_{DD}$ for read	$V_{PR}$	$V_{min}$	-	5.5	V	$V_{min}$ = min operating voltage
D132a	$V_{DD}$ for erase/write		$V_{min}$	-	5.5	V	using EECON to read/write, $V_{min}$ = min operating voltage
D133	Erase/Write cycle time	$T_{PEW}$	-	4	8	ms	

Legend: \* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

**Note 1:** In RC oscillator configuration, the OSC1/CLKIN pin is a Schmitt Trigger input. It is not recommended that the PIC16F87X be driven with external clock in RC mode.

- The leakage current on the MCLR pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.
- Negative current is defined as current sourced by the pin.

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

**DESCRIPTION**

The MOC303XM and MOC304XM devices consist of a AlGaAs infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a zero voltage crossing bilateral triac driver.

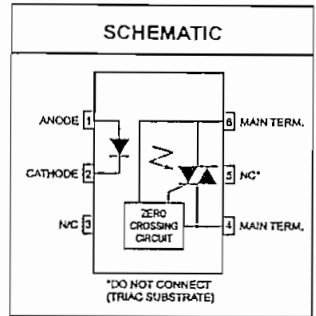
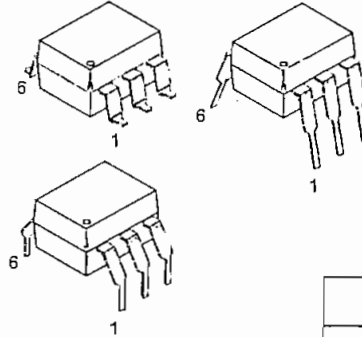
They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 VAC lines, such as teletypewriters, CRTs, solid-state relays, industrial controls, printers, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

**FEATURES**

- Simplifies logic control of 115 VAC power
- Zero voltage crossing
- dv/dt of 2000 V/μs typical, 1000 V/μs guaranteed
- VDE recognized (File # 94766)
- -ordering option V (e.g., MOC3043VM)

**APPLICATIONS**

- Solenoid/valve controls
- AC motor drives
- Temperature controls
- AC motor starters
- Lighting controls
- E.M. contactors
- Solid state relays



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

Parameters	Symbol	Device	Value	Units
<b>TOTAL DEVICE</b>				
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>	All	-40 to +150	°C
Operating Temperature	T <sub>OPR</sub>	All	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	T <sub>SOL</sub>	All	260 for 10 sec	°C
Junction Temperature Range	T <sub>J</sub>	All	-40 to +100	°C
Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup> (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V <sub>ISO</sub>	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25°C	P <sub>D</sub>	All	250	mW
Derate above 25°C			2.94	mW/°C
<b>EMITTER</b>				
Continuous Forward Current	I <sub>F</sub>	All	60	mA
Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	All	6	V
Total Power Dissipation 25°C Ambient	P <sub>D</sub>	All	120	mW
Derate above 25°C			1.41	mW/°C
<b>DETECTOR</b>				
Off-State Output Terminal Voltage	V <sub>DRM</sub>	MOC3031M/2M/3M	250	V
		MOC3041M/2M/3M	400	
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μs, 120 pps)	I <sub>TSM</sub>	All	1	A
Total Power Dissipation @ 25°C Ambient	P <sub>D</sub>	All	150	mW
Derate above 25°C		All	1.76	mW/°C

**Note**

1. Isolation surge voltage, V<sub>ISO</sub>, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified)

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
<b>EMITTER</b>							
Input Forward Voltage	$I_F = 30\text{ mA}$	$V_F$	All		1.25	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 6\text{ V}$	$I_R$	All		0.01	100	$\mu\text{A}$
<b>DETECTOR</b>							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated $V_{DRM}$ , $I_F = 0$ (note 1)	$I_{DRM1}$	All			100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{ mA peak}$ , $I_F = 0$	$V_{TM}$	All		1.8	3	V
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$I_F = 0$ (figure 9, note 3)	$dv/dt$	All	1000			V/ $\mu\text{s}$

**TRANSFER CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Main terminal voltage = 3V (note 2)	$I_{FT}$	MOC3031M/MOC3041M			15	mA
			MOC3032M/MOC3042M			10	
			MOC3033M/MOC3043M			5	
Holding Current, Either Direction		$I_H$	All		400		$\mu\text{A}$

**ZERO CROSSING CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified.)

Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
Inhibit Voltage	$I_F = \text{rated } I_{FT}$ , MT1-MT2 voltage above which device will not trigger off-state	$V_{IH}$	All			20	V
Leakage in Inhibited State	$I_F = \text{rated } I_F$ , rated $V_{DRM}$ , off-state	$I_{DRM2}$	All			500	$\mu\text{A}$

Note

1. Test voltage must be applied within  $dv/dt$  rating.
2. All devices are guaranteed to trigger at an  $I_F$  value less than or equal to max  $I_{FT}$ . Therefore, recommended operating  $I_F$  lies between max  $I_{FT}$  (15 mA for MOC3031M & MOC3041M, 10 mA for MOC3032M & MOC3042M, 5 mA for MOC3033M & MOC3043M) and absolute max  $I_F$  (60 mA).
3. This is static  $dv/dt$ . See Figure 9 for test circuit. Commutating  $dv/dt$  is a function of the load-driving thyristor(s) only.

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

Figure 1. LED Forward Voltage vs. Forward Current

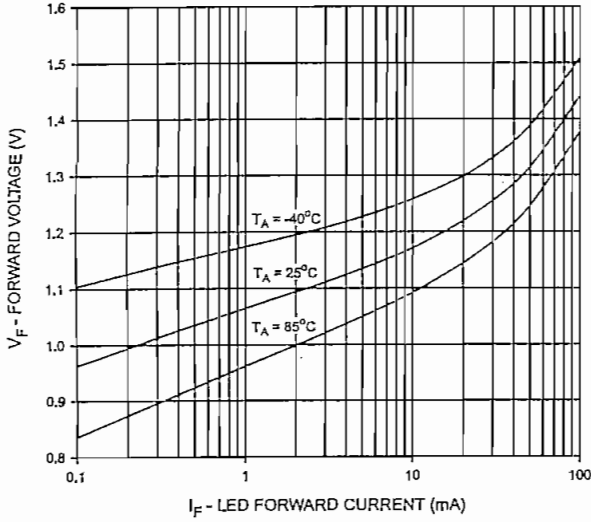


Figure 2. On-State Characteristics

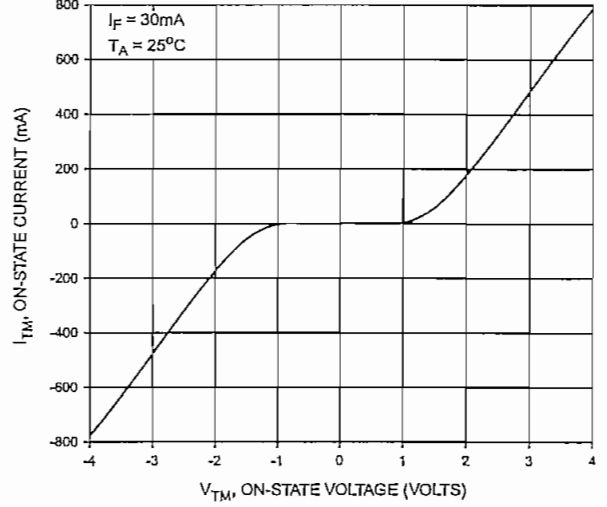


Figure 3. Trigger Current vs. Temperature

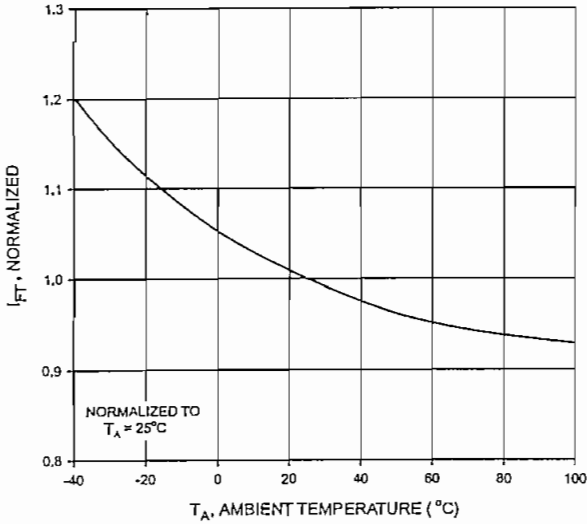


Figure 4. Leakage Current,  $I_{DRM}$  vs. Temperature

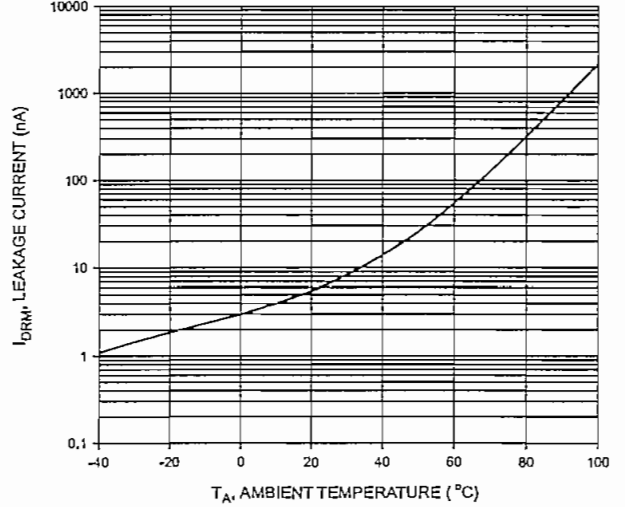




Figure 5.  $I_{DRM2}$  - Leakage In Inhibit State vs. Temperature

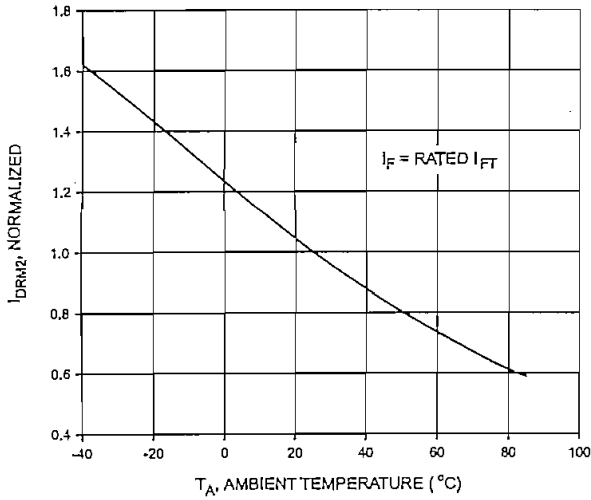


Figure 6. LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

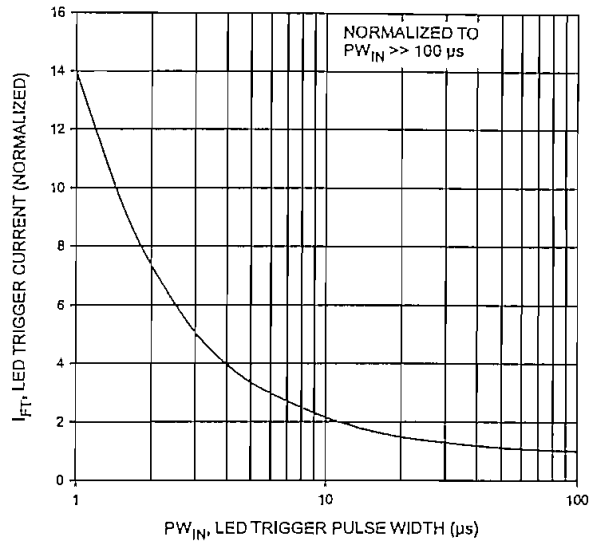


Figure 7. Holding Current,  $I_H$  vs. Temperature

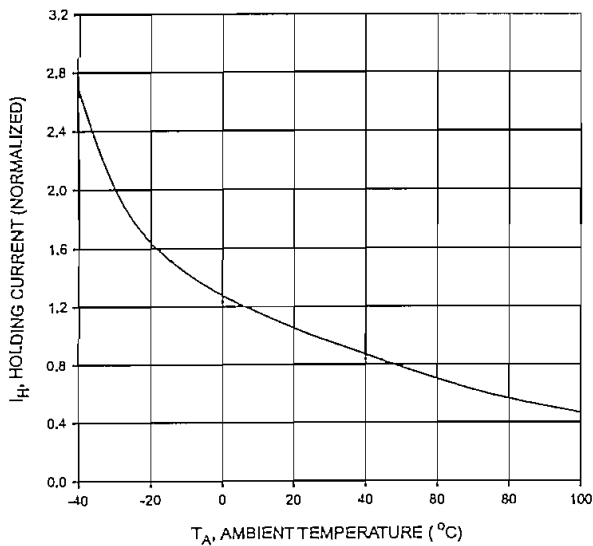
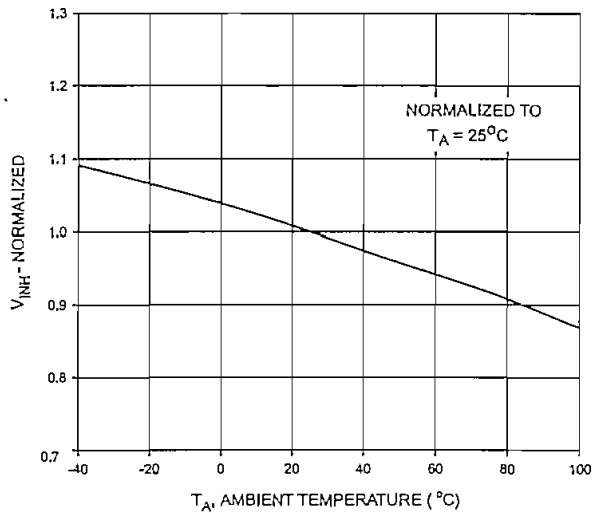


Figure 8. Inhibit Voltage vs. Temperature



MOC3031M    MOC3032M    MOC3033M    MOC3041M    MOC3042M    MOC3043M

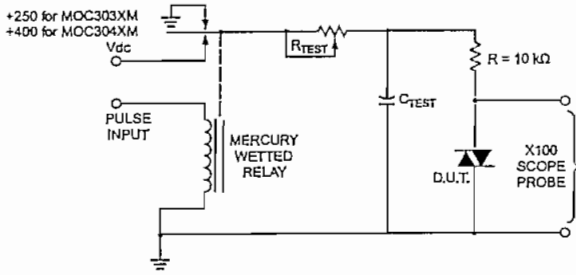


Figure 9. Static dv/dt Test Circuit

1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable  $R_{TEST}$  allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering.  $\tau_{RC}$  is measured at this point and recorded.

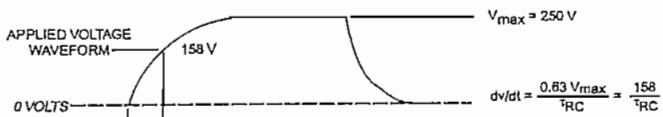


Figure 10. Static dv/dt Test Waveform (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)

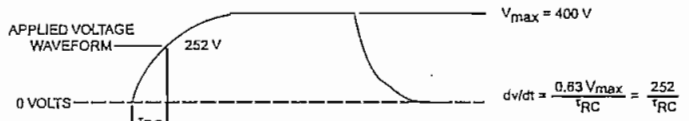
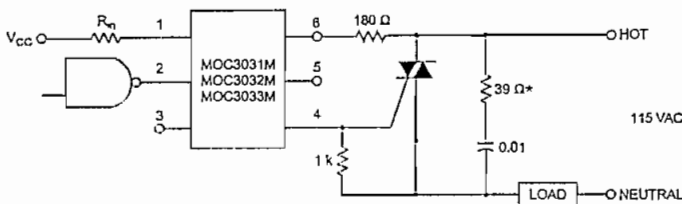


Figure 11. Static dv/dt Test Waveform (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

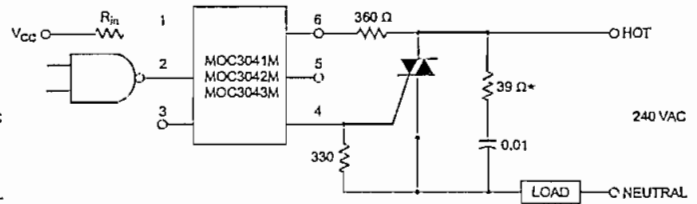
Typical circuit (Fig 12, 13) for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

$R_{in}$  is calculated so that  $I_F$  is equal to the rated  $I_{FT}$  of the part, 5 mA for the MOC3033M and MOC3043M, 10 mA for the MOC3032M and MOC3042M, or 15 mA for the MOC3031M and MOC3041M. The 39 ohm resistor and 0.01  $\mu$ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.



\*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 12. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)



\*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 13. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

MOC3031M    MOC3032M    MOC3033M    MOC3041M    MOC3042M    MOC3043M

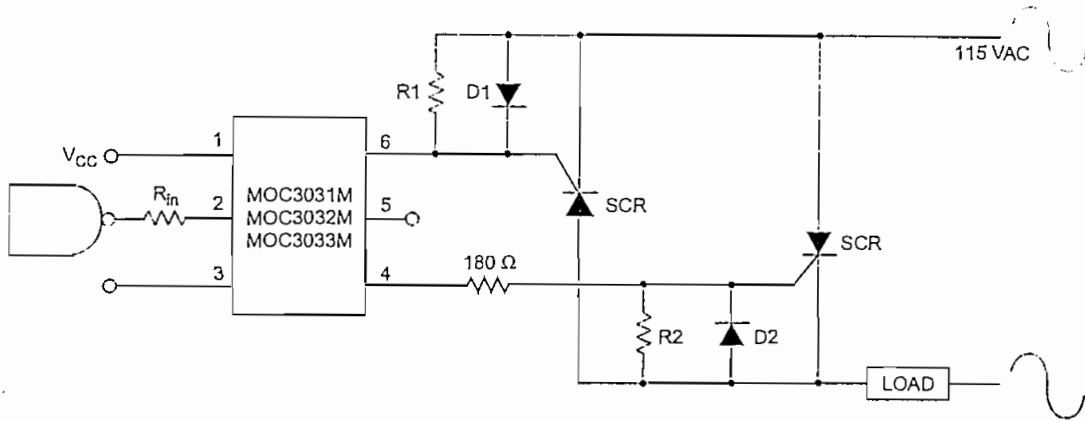


Figure 14. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit  
(MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)

Suggested method of firing two, back-to-back SCR's with a Fairchild triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 1 k ohm.

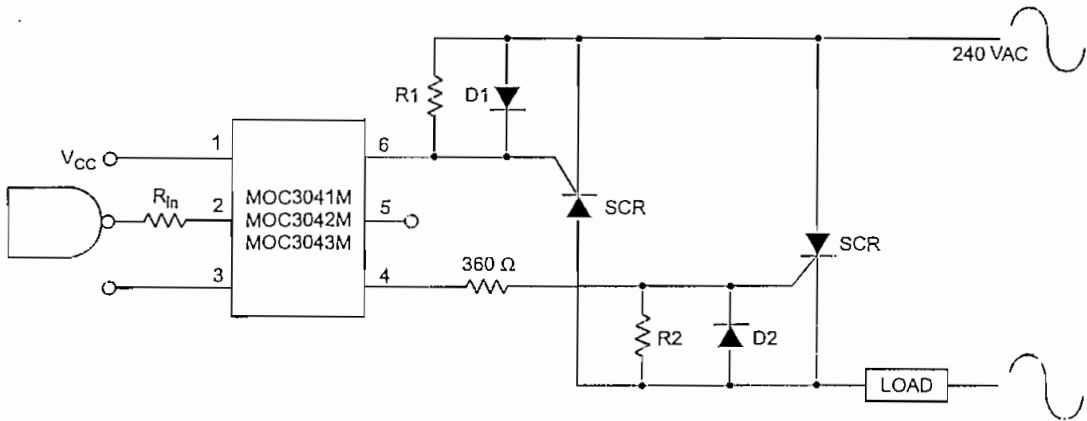


Figure 15. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit  
(MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

Suggested method of firing two, back-to-back SCR's with a Fairchild triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohm.

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

MOC3031M

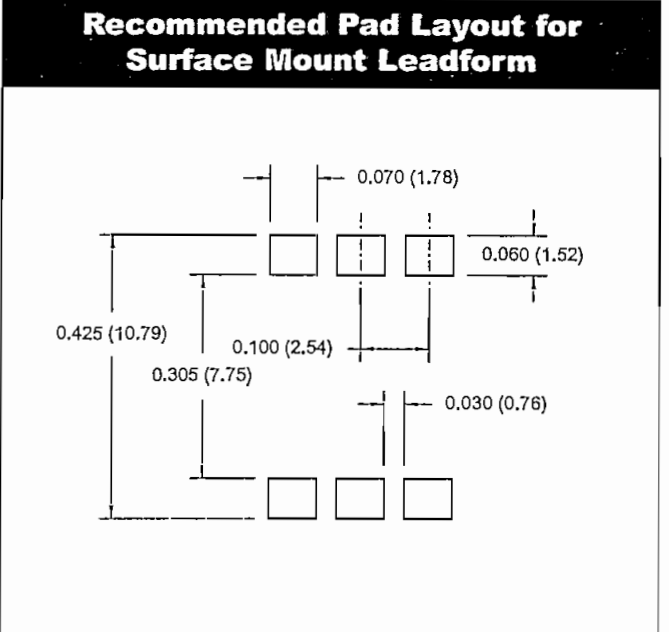
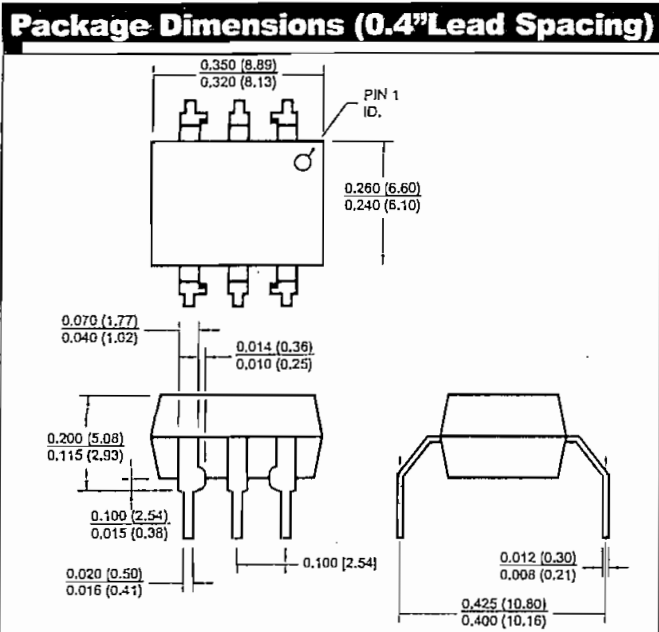
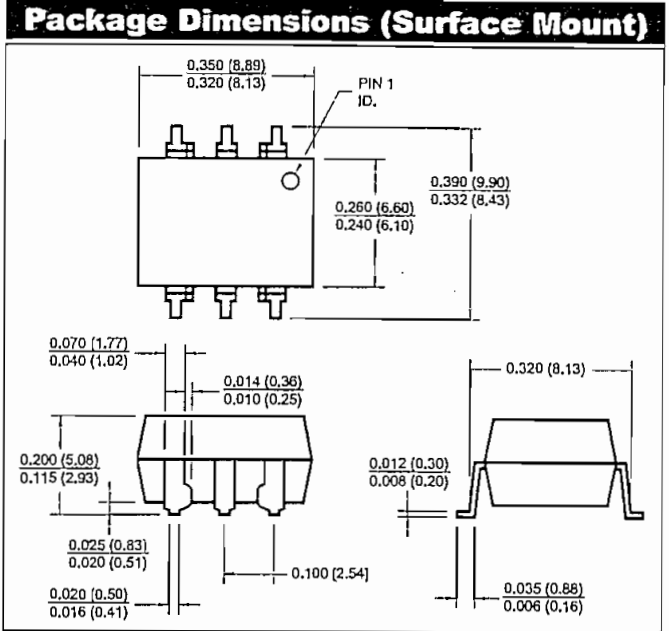
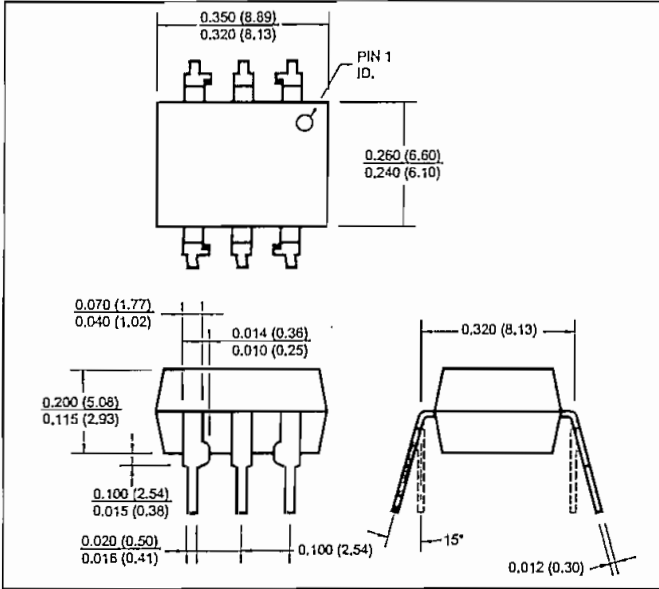
MOC3032M

MOC3033M

MOC3041M

MOC3042M

MOC3043M



**NOTE**  
All dimensions are in inches (millimeters)

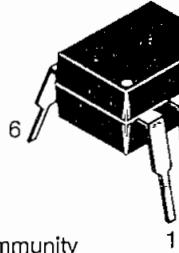
**MOC8030  
MOC8050**

**DESCRIPTION**

The MOC8030 and MOC8050 are photodarlington-type optically coupled optocouplers. The devices have a gallium arsenide infrared emitting diode coupled with a silicon darlington phototransistor.

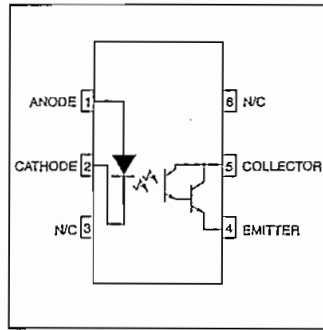
**FEATURES**

- High  $BV_{CEO}$   
-Minimum 80 V
- High current transfer ratio  
-300% (MOC8030)  
-500% (MOC8050)
- No base connection for improved noise immunity
- Underwriters Laboratory (UL) recognized File# E90700

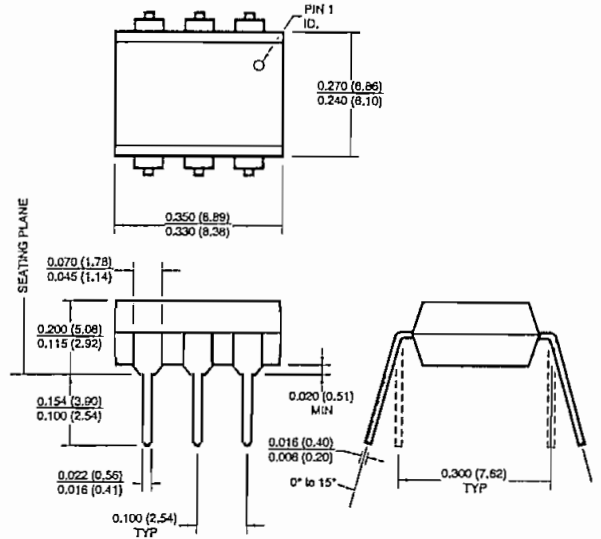


**APPLICATIONS**

- Appliances, measuring instruments
- I/O interface for computers
- Programmable controllers
- Portable electronics
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedance
- Solid state relays



**PACKAGE DIMENSIONS**



**NOTE**  
All dimensions are in inches (millimeters)

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified.)

Parameter	Symbol	Value	Units
<b>TOTAL DEVICE</b>			
Storage Temperature	$T_{STG}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	$T_{OPR}$	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	$T_{SOL}$	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_D$	250	mW
Derate above $25^\circ\text{C}$		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Input-Output Isolation Voltage	$V_{ISO}$	5300	Vac(rms)
<b>EMITTER</b>			
DC/Average Forward Input Current	$I_F$	60	mA
Reverse Input Voltage	$V_R$	3	V
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_D$	120	mW
Derate above $25^\circ\text{C}$		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>DETECTOR</b>			
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	80	V
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$P_D$	150	mW
Derate above $25^\circ\text{C}$		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$
Continuous Collector Current	$I_C$	150	mA

**MOC8030  
MOC8050**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified.)

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
<b>EMITTER</b>						
Input Forward Voltage	( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$		1.15	2	V
Input Capacitance	( $V_F = 0, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_{IN}$		18		pF
Reverse Leakage Current	( $V_R = 3.0\text{ V}$ )	$I_R$		0.05	10	$\mu\text{A}$
<b>DETECTOR</b>						
Collector-Emitter Breakdown Voltage	( $I_C = 1.0\text{ mA}$ )	$BV_{CEO}$	80			V
Emitter-Collector Breakdown Voltage	( $I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$ )	$BV_{ECO}$	5			V
Collector-Emitter Dark Current	( $V_{CE} = 60\text{ V}$ )	$I_{CEO}$			1	$\mu\text{A}$

**TRANSFER CHARACTERISTICS**

DC Characteristic	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Units
Current Transfer Ratio, Collector-Emitter	MOC8030 ( $I_F = 10\text{ mA}, V_{CE} = 1.5\text{ V}$ ) MOC8050 ( $I_F = 10\text{ mA}, V_{CE} = 1.5\text{ V}$ )	CTR	300			%
			500			

**TRANSFER CHARACTERISTICS**

Characteristic	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Units
<b>SWITCHING TIMES</b>						
Turn-on Time	( $V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\Omega, I_F = 5\text{ mA}$ )	$t_{on}$		3.5		$\mu\text{s}$
Turn-off Time		$t_{off}$		95		$\mu\text{s}$

**ISOLATION CHARACTERISTICS**

Characteristic	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Units
Input-Output Isolation Voltage	( $I_{I-O} \leq 1\text{ }\mu\text{A}, 1\text{ min.}$ )	$V_{ISO}$	7500			Vac(pk)
	( $I_{I-O} \leq 1\text{ }\mu\text{A}, 1\text{ min.}$ )		5300			Vac(rms)
Isolation Resistance	( $V_{I-O} = 500\text{ VDC}$ )	$R_{ISO}$	$10^{11}$			$\Omega$
Isolation Capacitance	( $f = 1\text{ MHz}$ )	$C_{ISO}$		0.5		pf

Note

\*\* Typical values at  $T_A = 25^\circ\text{C}$

**MOC8030  
MOC8050**

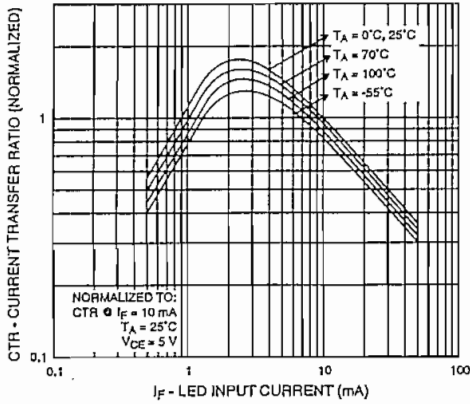


Fig. 1 Output Current vs. Input Current

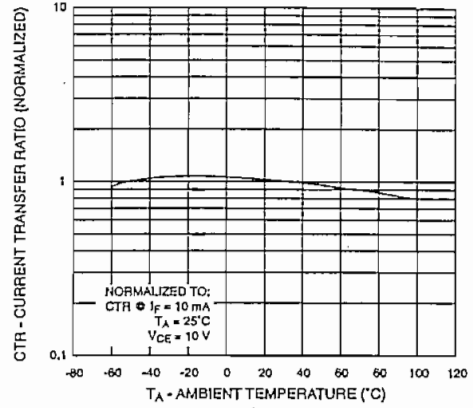


Fig. 2 Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

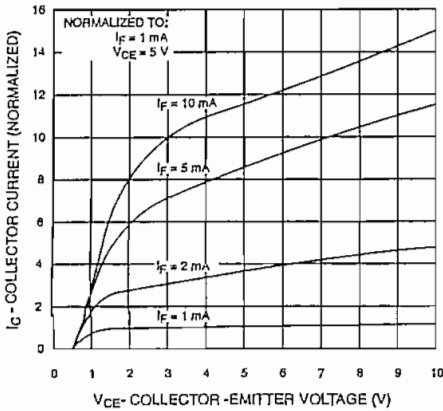


Fig. 3 Collector Current vs. Collector-Emitter Voltage

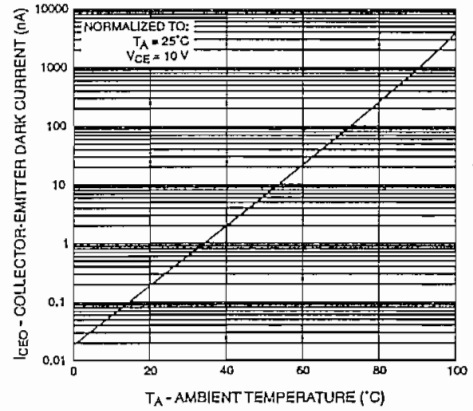


Fig. 4 Dark Current vs. Ambient Temperature

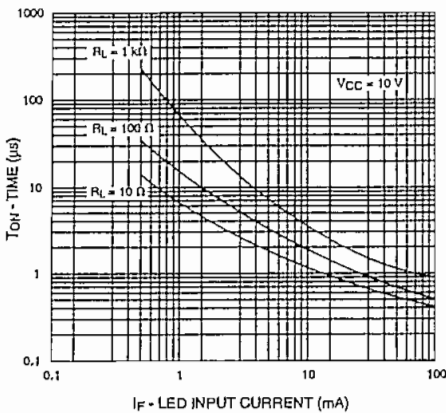


Fig. 5 Turn-On Time vs. Input Current

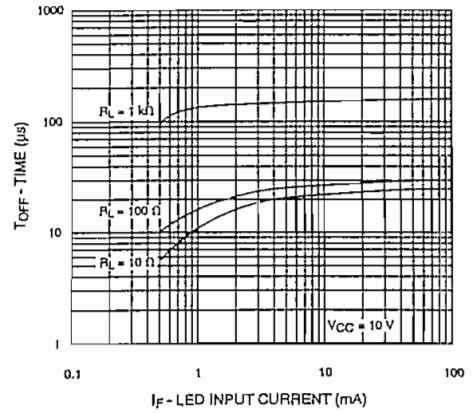
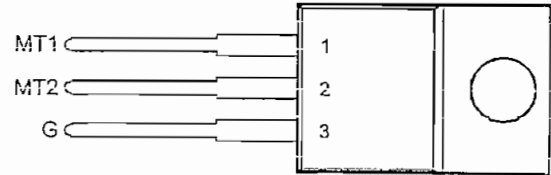


Fig. 6 Turn-Off Time vs. Input Current

- 8 A RMS, 70 A Peak
- Glass Passivated Wafer
- 400 V to 800 V Off-State Voltage
- Max  $I_{GT}$  of 50 mA (Quadrants 1 - 3)

TO-220 PACKAGE  
(TOP VIEW)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDC2ACA

### absolute maximum ratings over operating case temperature (unless otherwise noted)

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Repetitive peak off-state voltage (see Note 1)	TIC226D	$V_{ORM}$	400	V
	TIC226M		600	
	TIC226S		700	
	TIC226N		800	
Full-cycle RMS on-state current at (or below) 85°C case temperature (see Note 2)		$I_{T(RMS)}$	8	A
Peak on-state surge current full-sine-wave (see Note 3)		$I_{TSM}$	70	A
Peak on-state surge current half-sine-wave (see Note 4)		$i_{TSM}$	80	A
Peak gate current		$I_{GM}$	±1	A
Peak gate power dissipation at (or below) 85°C case temperature (pulse width ≤ 200 μs)		$P_{GM}$	2.2	W
Average gate power dissipation at (or below) 85°C case temperature (see Note 5)		$P_{G(AV)}$	0.9	W
Operating case temperature range		$T_C$	-40 to +110	°C
Storage temperature range		$T_{stg}$	-40 to +125	°C
Lead temperature 1.6 mm from case for 10 seconds		$T_L$	230	°C

NOTES: 1. These values apply bidirectionally for any value of resistance between the gate and Main Terminal 1.

2. This value applies for 50-Hz full-sine-wave operation with resistive load. Above 85°C derate linearly to 110°C case temperature at the rate of 320 mA/°C.
3. This value applies for one 50-Hz full-sine-wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.
4. This value applies for one 50-Hz half-sine-wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.
5. This value applies for a maximum averaging time of 20 ms.

### electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$I_{DRM}$	Repetitive peak off-state current	$V_D = \text{rated } V_{ORM}$	$I_G = 0$	$T_C = 110^\circ\text{C}$			±2	mA
$I_{GTM}$	Peak gate trigger current	$V_{supply} = +12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		2	50	mA
		$V_{supply} = +12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		-12	-50	
		$V_{supply} = -12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		-9	-50	
		$V_{supply} = -12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		20		
$V_{GTM}$	Peak gate trigger voltage	$V_{supply} = +12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		0.7	2	V
		$V_{supply} = +12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		-0.8	-2	
		$V_{supply} = -12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		-0.8	-2	
		$V_{supply} = -12\text{ V}\dagger$	$R_L = 10\ \Omega$	$t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$		0.9	2	

† All voltages are with respect to Main Terminal 1.

## PRODUCT INFORMATION

Information is current as of publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Power Innovations standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



# TIC226 SERIES SILICON TRIACS

APRIL 1971 - REVISED MARCH 1997

electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted) (continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{TM}$ Peak on-state voltage	$I_{TM} = \pm 12 \text{ A}$	$I_G = 50 \text{ mA}$	(see Note 6)		$\pm 1.6$	$\pm 2.1$	V
$I_H$ Holding current	$V_{supply} = +12 \text{ V} \dagger$ $V_{supply} = -12 \text{ V} \dagger$	$I_G = 0$	Init' $I_{TM} = 100 \text{ mA}$ Init' $I_{TM} = -100 \text{ mA}$		5 -9	30 -30	mA
$I_L$ Latching current	$V_{supply} = +12 \text{ V} \dagger$ $V_{supply} = -12 \text{ V} \dagger$	(see Note 7)				50 -50	mA
dv/dt Critical rate of rise of off-state voltage	$V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM}$	$I_G = 0$	$T_C = 110^\circ\text{C}$		$\pm 100$		V/ $\mu\text{s}$
dv/dt <sub>(c)</sub> Critical rise of commutation voltage	$V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM}$	$I_{TRM} = \pm 12 \text{ A}$	$T_C = 85^\circ\text{C}$	$\pm 5$			V/ $\mu\text{s}$

† All voltages are with respect to Main Terminal 1.

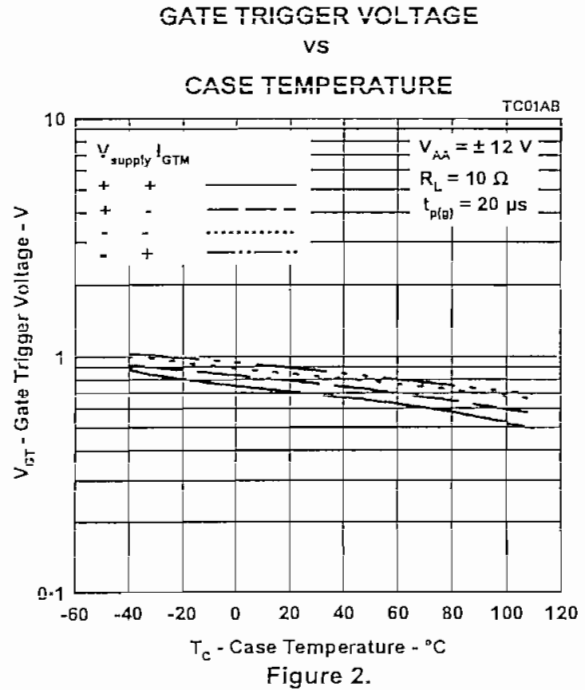
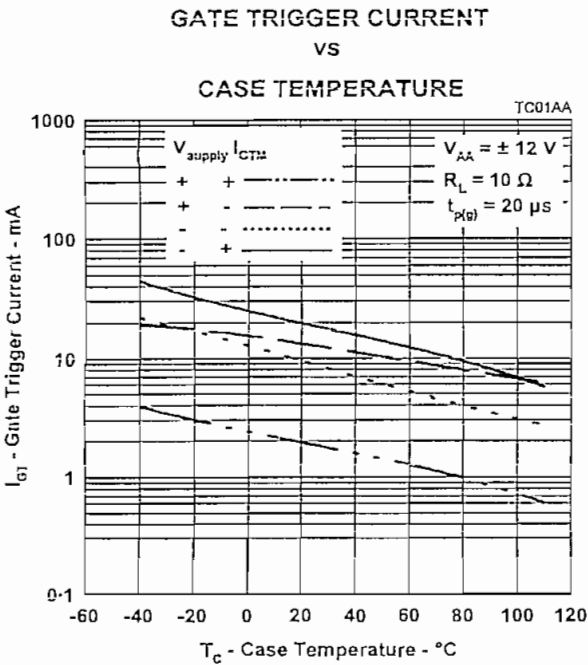
NOTES: 6. This parameter must be measured using pulse techniques,  $t_p \leq 1 \text{ ms}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ . Voltage-sensing contacts separate from the current carrying contacts are located within 3.2 mm from the device body.

7. The triacs are triggered by a 15-V (open-circuit amplitude) pulse supplied by a generator with the following characteristics:  
 $R_G = 100 \Omega$ ,  $t_{p(g)} = 20 \mu\text{s}$ ,  $t_r \leq 15 \text{ ns}$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$ .

## thermal characteristics

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance			1.8	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	$^\circ\text{C/W}$

## TYPICAL CHARACTERISTICS



## PRODUCT INFORMATION

TYPICAL CHARACTERISTICS

HOLDING CURRENT  
VS  
CASE TEMPERATURE

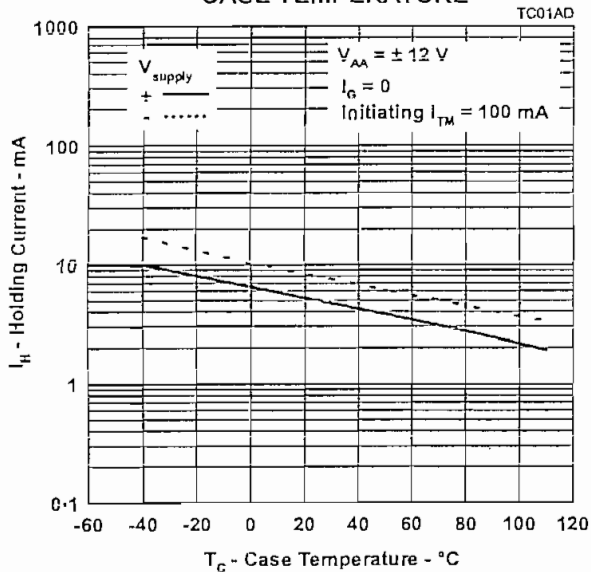


Figure 3.

GATE FORWARD VOLTAGE  
VS  
GATE FORWARD CURRENT

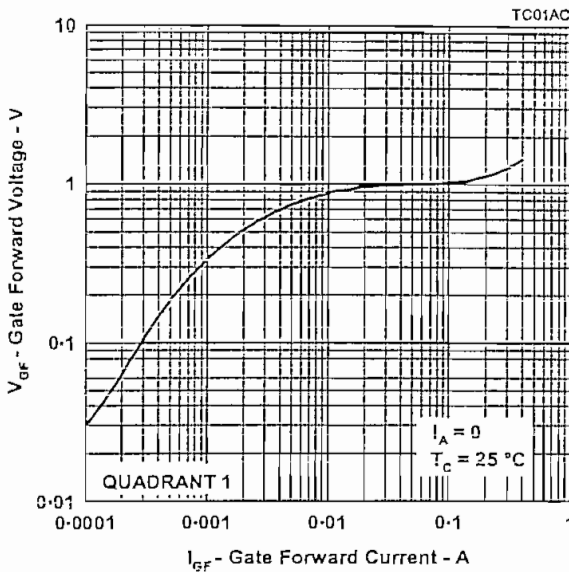


Figure 4.

LATCHING CURRENT  
VS  
CASE TEMPERATURE

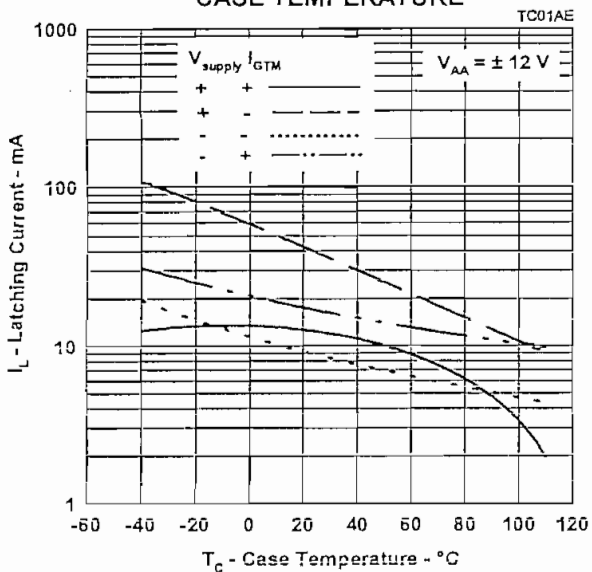


Figure 5.

SURGE ON-STATE CURRENT  
VS  
CYCLES OF CURRENT DURATION

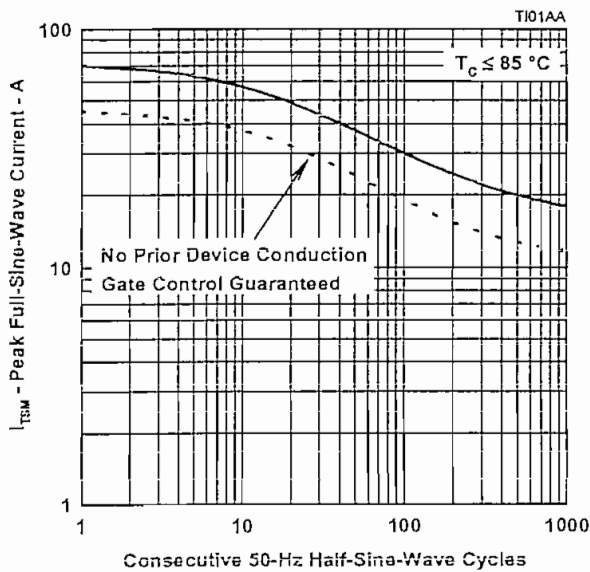


Figure 6.

TYPICAL CHARACTERISTICS

MAX RMS ON-STATE CURRENT  
VS  
CASE TEMPERATURE

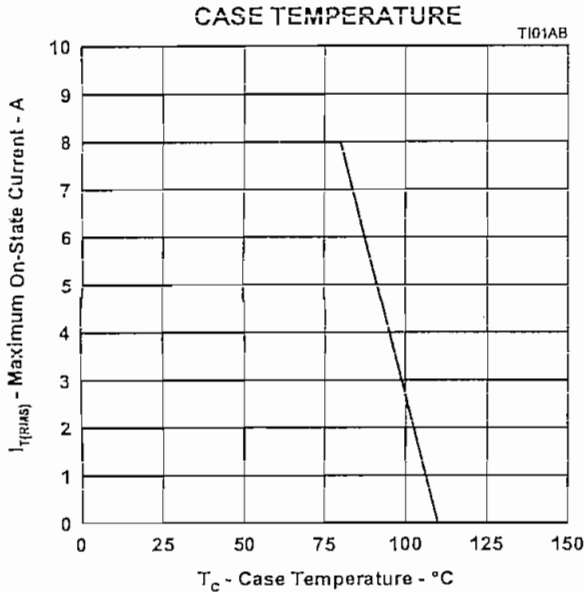


Figure 7.

MAX AVERAGE POWER DISSIPATED  
VS  
RMS ON-STATE CURRENT

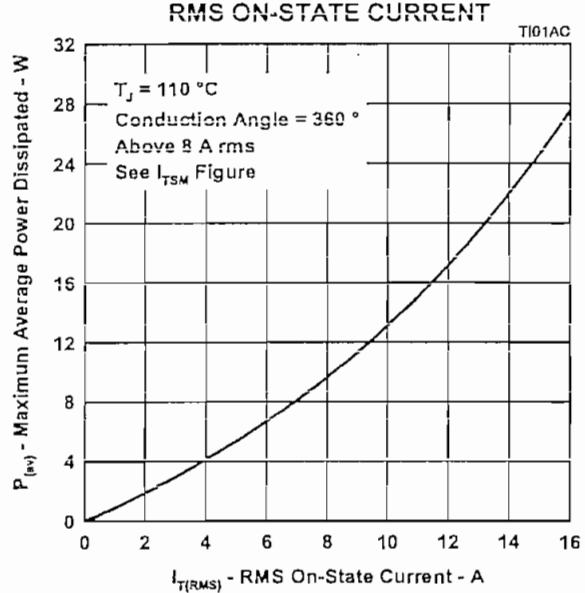
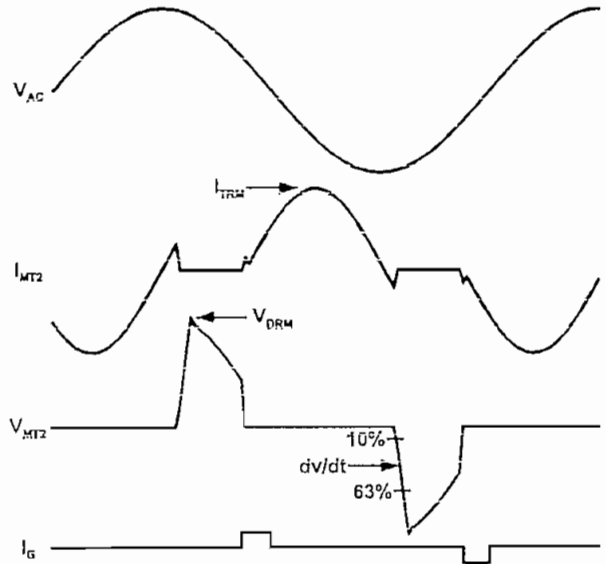
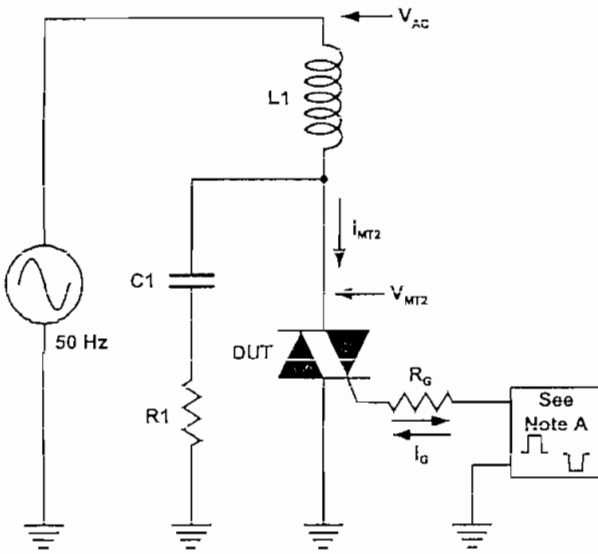


Figure 8.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTE A: The gate-current pulse is furnished by a trigger circuit which presents essentially an open circuit between pulses. The pulse is timed so that the off-state-voltage duration is approximately 800  $\mu$ s.

Figure 9.

PMC2AA

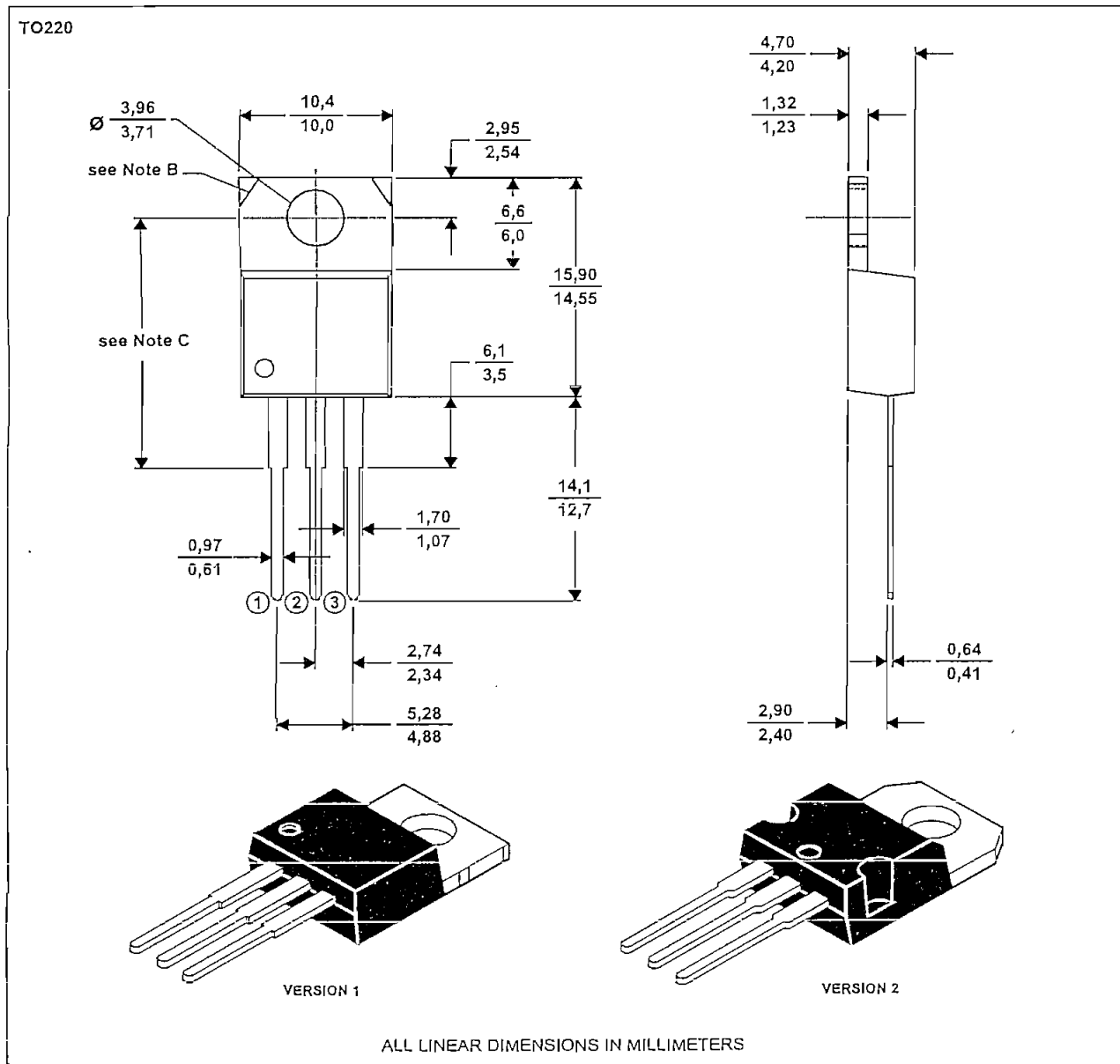
PRODUCT INFORMATION

MECHANICAL DATA

TO-220

3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.



NOTES: A. The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.  
 B. Mounting tab corner profile according to package version.  
 C. Typical fixing hole centre stand off height according to package version.  
 Version 1, 18.0 mm. Version 2, 17.6 mm.

MDXXBE

PRODUCT INFORMATION



# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C1–C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2–C4 = 0.33µF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	$\overline{\text{SHDN}} = V_{CC}$ or $\overline{\text{EN}} = V_{CC}$ ( $\overline{\text{SHDN}} = 0V$ for MAX222), $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$			±0.05	±10	µA
$\overline{\text{EN}}$ Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
$\overline{\text{EN}}$ Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V <sub>CC</sub> Supply Current ( $\overline{\text{SHDN}} = V_{CC}$ ), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T <sub>A</sub> = +25°C		0.1	10	µA
		T <sub>A</sub> = 0°C to +70°C		2	50	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C		2	50	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C		35	100	
$\overline{\text{SHDN}}$ Input Leakage Current	MAX222/242				±1	µA
$\overline{\text{SHDN}}$ Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
$\overline{\text{SHDN}}$ Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C <sub>L</sub> = 50pF to 2500pF, R <sub>L</sub> = 3kΩ to 7kΩ, V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/µs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t <sub>PHLT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	µs
		MAX220		4	10	
	t <sub>PLHT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t <sub>PHLR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	µs
		MAX220		0.6	3	
	t <sub>PLHR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t <sub>PHLS</sub>	MAX242		0.5	10	µs
	t <sub>PLHS</sub>	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t <sub>ER</sub>	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t <sub>DR</sub>	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time ( $\overline{\text{SHDN}}$ goes high), Figure 4	t <sub>ET</sub>	MAX222/242, 0.1µF caps (includes charge-pump start-up)		250		µs
Transmitter-Output Disable Time ( $\overline{\text{SHDN}}$ goes low), Figure 4	t <sub>DT</sub>	MAX222/242, 0.1µF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t <sub>PHLT</sub> - t <sub>PLHT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t <sub>PHLR</sub> - t <sub>PLHR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

**Note 3:** MAX243 R<sub>2OUT</sub> is guaranteed to be low when R<sub>2IN</sub> is ≥ 0V or is floating.

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230–MAX241 (continued)

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241,  $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ; MAX233/MAX235,  $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ,  $C_1$ – $C_4 = 1.0\mu F$ ; MAX231/MAX239,  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$ ;  $V_+ = 7.5V$  to  $13.2V$ ;  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation $\overline{SHDN} = 5V$ (MAX223) $\overline{SHDN} = 0V$ (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) $\overline{SHDN} = 0V$ , $EN = 5V$ ( $R_{4IN}$ , $R_{5IN}$ )	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation $\overline{SHDN} = 5V$ (MAX223) $\overline{SHDN} = 0V$ (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) $\overline{SHDN} = 0V$ , $EN = 5V$ ( $R_{4IN}$ , $R_{5IN}$ )		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$ , no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k $\Omega$
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6mA$ (MAX231/232/233, $I_{OUT} = 3.2mA$ )				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$ ; $EN = 0V$ (MAX223); $\overline{EN} = V_{CC}$ (MAX235–241)			0.05	$\pm 10$	$\mu A$
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT, $C_L = 150pF$	Normal operation		0.5	10	$\mu s$
		$\overline{SHDN} = 0V$ (MAX223)	$t_{PHLS}$	4	40	
			$t_{PLHS}$	6	40	
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234–241, $T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $C_L = 50pF$ to $2500pF$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ $\mu s$
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $C_L = 50pF$ to $2500pF$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 2V$		300			$\Omega$
Transmitter Output Short-Circuit Current				$\pm 10$		mA

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

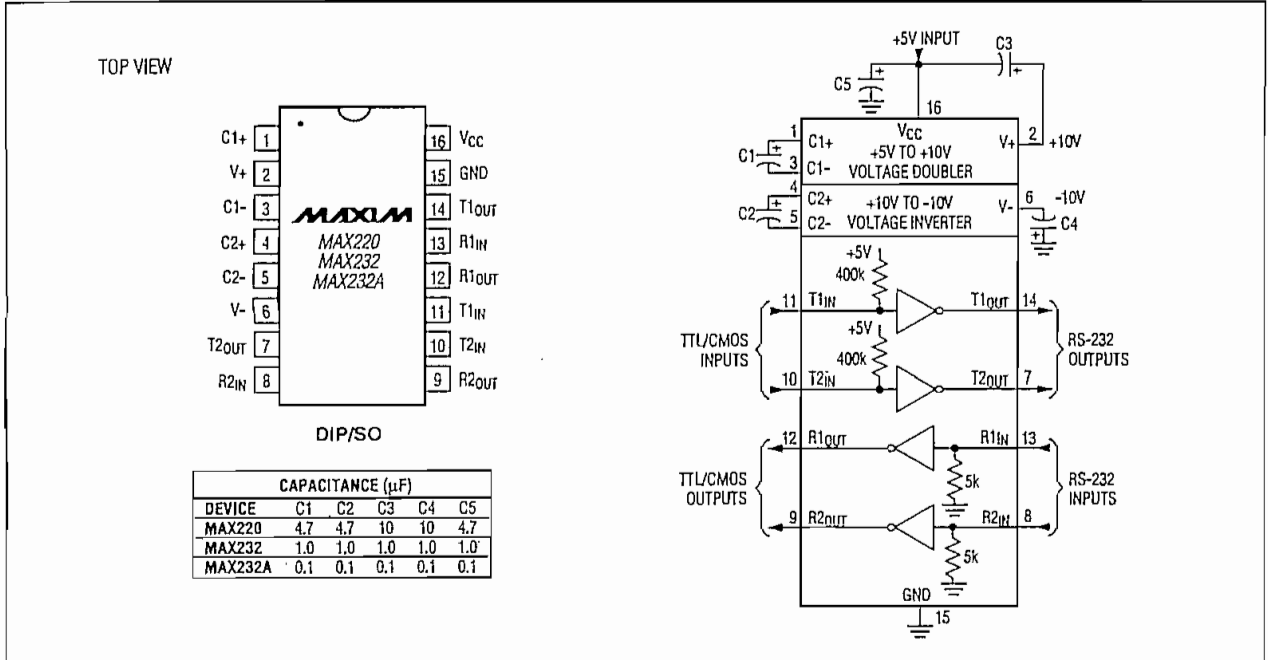


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

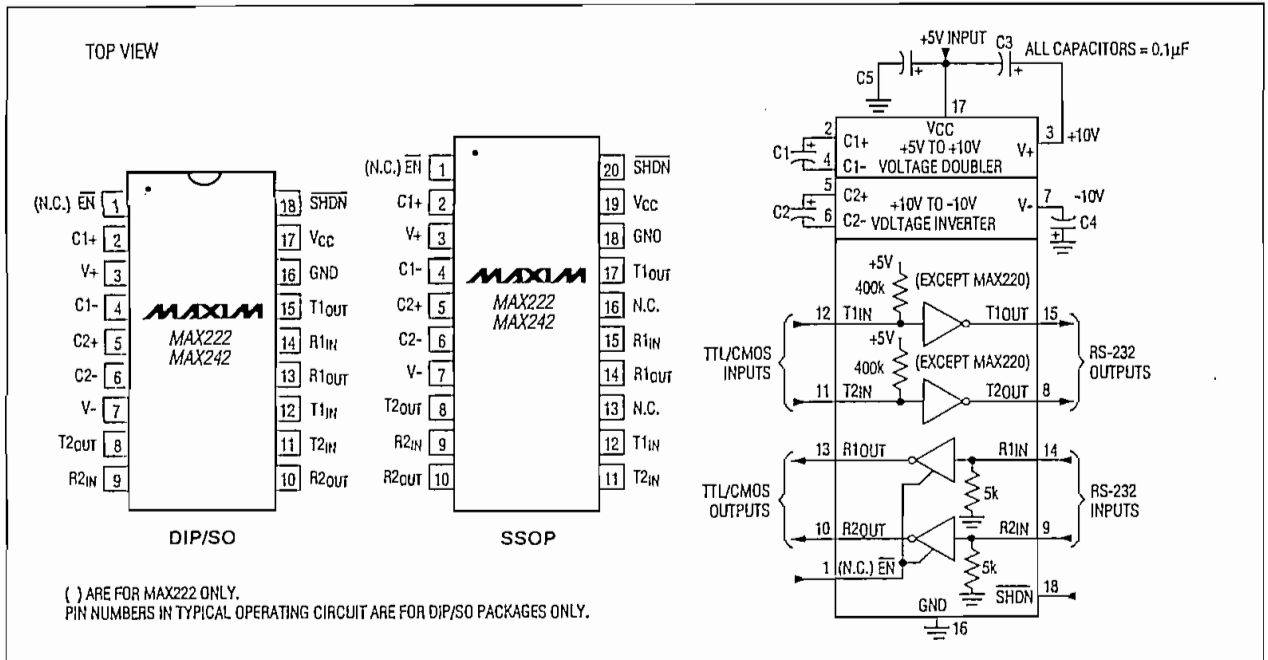


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit