

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE INGENIERIA ENSENADA

**Controlador De Temperatura con aplicación a diodos láser utilizados para
sistemas de comunicaciones ópticas**

TESIS

**Para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

PRESENTA

Antonio Gómez Roa

Ensenada, Baja California, Agosto del 2006

TESIS DEFENDIDA POR
ANTONIO GOMEZ ROA
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



DR. HORACIO LUIS MARTÍNEZ REYES

DIRECTOR DE TESIS



**DR. MIGUEL ENRIQUE
MARTINEZ ROSAS**

SINODAL



**M.C. JUAN DE DIOS SÁNCHEZ
LÓPEZ**

SINODAL

Ensenada, Baja California, abril del 2006.

**Con profundo agradecimiento Para mí
Universidad Autónoma de Baja California**

Un agradecimiento muy especial a mí Director de Tesis

Y Amigo **Dr. Horacio Martínez Reyes**

Por su magnífica contribución para la

Realización de este proyecto y mi carrera

A mis amigos que siempre nos hemos

Apoyado en las buenas y en las malas.

A todos los que de una u otra forma

Me apoyaron en la realización de este proyecto

A mi esposa **Bianca Marisol Gutiérrez Vásquez**

Por su apoyo y amor que me mostró

Durante la realización del proyecto

En especial a mis padres que siempre

Desearon que llegara a lograr algo en la vida

Y se los cumplí

Maria Dolores Roa Martínez

Antonio Gómez Hernández

RESUMEN

Controlador De Temperatura para un láser Utilizando como termoelectrico un peltier

Resumen de Tesis

Aprobado por:



Dr. HORACIO MARTINEZ REYES

DIRECTOR DE TESIS

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de control de temperatura automatizado para los dispositivos láser utilizando como sensor un termistor NTC y un elemento PELTIER como enfriador/calentador, este sistema puede servir para realizar prácticas escolares, para investigación, etc. Este sistema cuenta con ayuda visual proyectada en una pantalla LCD, y es amigable y simple de utilizar para el usuario. Cuenta con 4 botones para la selección de la temperatura deseada para la selección de un mínimo y un máximo así como con 2 alarmas que indican si se esta sobrepasando el rango establecido de temperatura. El controlador se puede utilizar en centros de investigación, y la industria de la electrónica para mantener diversos dispositivos o circuitos electrónicos a temperaturas deseadas. El sistema permite grabar los cambios de los intervalos de temperatura dados por el usuario. En este documento se describen las características y la manera adecuada para desarrollar el controlador de temperatura utilizando un elemento peltier. También, se presentan las mediciones experimentales a diferentes temperaturas.

INDICE

INTRODUCCION	I
I.1 Antecedentes	1
I.2 Importancia Del Estudio	1
I.3 Objetivo General	2
I.4 Objetivos Específicos	2
DESCRIPCION DEL PROYECTO	II
II.1 Introducción	3
II.2 Explicación De Los Módulos De Control	5
<i>II.2.1 Sensor De Temperatura</i>	5
<i>II.2.2 Acondicionamiento De La Señal.....</i>	6
<i>II.2.3 Amplificador Sumador.....</i>	7
<i>II.2.4 Procesamiento De La Señal.....</i>	7
<i>II.2.5 Amplificador Bipolar.....</i>	8
<i>II.2.6 Etapa De Potencia.....</i>	9
<i>II.2.7 Modulo Peltier</i>	10
II.3 Selección Del Termistor	11
<i>II.3.1 Introducción</i>	11
<i>II.3.2 Características Del Termistor NTC</i>	11
<i>II.3.3 Sensibilidad De La Temperatura</i>	13
II.4 Efecto Peltier	14
<i>II.4.1 Antecedentes</i>	14
<i>II.4.2 Introducción</i>	14
<i>II.4.3 Descripción Del Efecto Peltier</i>	15
<i>II.4.3.1 Funcionamiento Termoeléctrico</i>	16
<i>II.4.3.2 materiales Termoeléctricos</i>	17
<i>II.4.4 Ventajas y Desventajas De Las Células Peltier</i>	18
<i>II.4.5 Disipador De Calor</i>	19
<i>II.4.6 Aplicaciones</i>	21
<i>II.4.7 Precios De Las Células Peltier</i>	22
<i>II.4.7.1 Estándar</i>	22
<i>II.4.7.2 Muti-Estado</i>	22
<i>II.4.7.3 Alto Desempeño</i>	23
<i>II.4.7.4 Alta Temperatura</i>	24

DISEÑO Y CONTRUCCION DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

III

III.1	Introducción	25
III.2	Etapa De Sensado	25
	<i>II.2.1 Calculo De La Fuente De Corriente</i>	25
III.3	Etapa De Control	29
	<i>III.3.1 Rutina Del Convertidor A/D</i>	30
	<i>III.3.2 Linealización Del Termistor</i>	31
	<i>III.3.3 Visualización De La Temperatura</i>	34
	<i>III.3.4 Rutina De Control</i>	35
III.4	Etapa De Amplificación	36
	<i>III.4.1 Acoplamiento De Salida</i>	36
	<i>III.4.2 Amplificador Diferencial</i>	37
	<i>III.4.3 Amplificador De Corriente</i>	41
III.5	Botones De Control	42
III.6	Grabación De Rangos De Temperatura	44
III.7	Construcción Del Controlador De Temperatura	44
	<i>III.7.1 Diseño De Tarjetas PCB</i>	44
	<i>III.7.2 ensamble Final Del Controlador De Temperatura</i>	50

RESULTADOS Y MEDICIONES EXPERIMENTALES

IV

IV.1	Dispositivo De Prueba	52
IV.2	Pasos A Llevar En Las Mediciones Experimentales	52
IV.3	Mediciones Voltaje-Corriente Para El Transistor 2N2222	55
	<i>IV.3.1 medición del voltaje colector-emisor</i>	55
	<i>IV.3.2 Medición Del Voltaje Base-Emisor</i>	58
IV.4	Mediciones Voltaje-Corriente Para El Transistor 2N3904	60
	<i>IV.4.1 medición del voltaje colector-emisor</i>	60
	<i>IV.4.2 Medición Del Voltaje Base-Emisor</i>	63
IV.5	Mediciones Voltaje-Corriente Para El Transistor 2N4124	68
	<i>IV.5.1 medición del voltaje colector-emisor</i>	68
	<i>IV.5.2 Medición Del Voltaje Base-Emisor</i>	71

CONCLUSION Y APORTACIONES	V
V.1- Conclusiones.....	74
BIBLIOGRAFIA	VI
VI.1- Bibliografía.....	75
APENDICE	VII
APENDICE A <i>Programas de Matlab.....</i>	76
APENDICE B <i>Rutinas para el Microcontrolador.....</i>	77
APENDICE C <i>Equipo Utilizado.....</i>	83
APENDICE D <i>Grabación de Datos en Memoria EEPROM.....</i>	84
APENDICE E <i>Modulo LCD</i>	87
APENDICE F <u><i>Circuito Utilizado</i></u>	99

LISTA DE FIGURAS

1	Diagrama a bloque del controlador de temperatura.....	4
2	Termistor NTC.....	5
3	Configuración De Puente H Con Fuente De Corriente.....	6
4	Configuración Seguidor Emisor.....	6
5	Configuración Sumador.....	7
6	Pines Del PIC16F876.....	8
7	Diagrama De Un Amplificador Bipolar	9
8	Diagrama De La Etapa De Potencia.....	10
9	Dispositivo Peltier.....	10
10	Grafica Del Termistor NTC Y PTC.....	11
11	Curvas De Respuesta De Resistencia -Temperatura Para Nueve Termistores Comunes.....	12
12	Cambios En La Curva De La R-T Para El Termistor Que Se Diferencia En Los Materiales Dopados.....	13
13	Célula Peltier.....	15
14	Modulo peltier de varias células.....	16
15	Esquema De La Célula peltier.....	16
16	Figura de mérito o rendimiento de materiales más comunes.....	18
17	Funcionamiento de un disipador de calor forzado.....	21
18	Células Peltier Standard.....	22
19	Células Peltier Multi-Estado.....	22
20	Células Peltier alto desempeño.....	23
21	Células Peltier De Alta Temperatura.....	24
22	Circuito De Censado y Fuente De Corriente.....	26
23	Curva de voltaje en función de la temperatura del termistor.....	28
24	curva del termistor modificada aplicando un voltaje de referencia...	29
25	Curva Ajustada Por El Método De Mínimos Cuadrados.....	32
26	Diagrama a bloques de la linealización del termistor.....	34
27	Pantalla LCD De 20 Caracteres Por 4 Filas.....	34
28	Secuencia De Visualización Para Un Display LCD.....	35
29	Etapa De Acoplamiento De salida.....	37
30	A) Amplificador No Inversor B) amplificador Diferencial.....	38
31	Configuración Amplificador Diferencial.....	39
32	Amplificador De Potencia.....	41
33	Controlador De Temperatura.....	43
34	Pistas Del Acondicionamiento Del Sensor y Etapa De potencia.....	45
35	Circuito Impreso Del Acondicionamiento Del Sensor y Etapa De potencia.....	46
36	Pistas para Botones De Control.....	46
37	Circuito Impreso para Botones De Control.....	47
38	Pistas Para Base del LCD.....	47
39	Circuito Impreso Para Base del LCD.....	48

40	Pistas Para Microcontrolador PIC16F876A.....	48
41	Circuito Impreso Para Microcontrolador PIC16F876A.....	49
42	Ensamble del controlador dentro del gabinete.....	50
43	Controlador De Temperatura Terminado (frontal).....	51
44	Controlador De Temperatura Terminado (trasera).....	51
45	Fuente De Corriente para los transistores.....	52
46	Medición De El Voltaje Colector-Emisor y base-emisor.....	53
47	Medición De La corriente De Colector.....	53
48	Selección Del Intervalo Requerido.....	54
49	Ensamble del sensor, peltier y transistor.....	54
50	Conexión para el transistor 2N2222.....	55
51	Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20 °C y 28 °C Para El Transistor 2N2222.....	57
52	Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Del Transistor 2N2222.....	58
53	Conexión Base-Emisor para el transistor 2N2222.....	58
54	Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20°C y 28°C Para El Transistor 2N2222.....	61
55	Grafica De Voltaje De Saturación base-Emisor Del Transistor 2N2222.....	61
56	Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20 °C y 28 °C Para El Transistor 2N3904.....	64
57	Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Del Transistor 2N3904.....	64
58	Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20°C y 28°C Para El Transistor 2N3904.....	67
59	Grafica De Voltaje De Saturación base-Emisor Del Transistor 2N3904.....	67
60	Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20 °C y 28 °C Para El Transistor 2N4124.....	70
61	Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Del Transistor 2N4124.....	70
62	Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20°C y 28°C Para El Transistor 2N4124.....	73
63	Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Del Transistor 2N4124.....	73

LISTA DE TABLAS

1	Temperatura Con Respecto Al Voltaje De Salida De La Fuente De Corriente.....	27
2	Voltaje de saturación colector-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N2222.....	56
3	Voltaje de saturación colector-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N2222.....	57
4	Voltaje de saturación base-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N2222.....	59
5	Voltaje de saturación base-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N2222.....	60
6	Voltaje de saturación colector-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N3904.....	62
7	Voltaje de saturación colector-emisor medido a 28 °C para el Transistor 2N3904.....	63
8	Voltaje de saturación base-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N3904.....	65
9	Voltaje de saturación base-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N3904.....	66
10	Voltaje de saturación colector-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N4124.....	68
11	Voltaje de saturación colector-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N4124.....	69
12	Voltaje de saturación base-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N4124.....	71
13	Voltaje de saturación base-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N4124.....	72

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones han tenido un crecimiento considerable en la industria y en aplicaciones de uso cotidiano como: la televisión, la radio, la telefonía, etc. Así, al contar con sistemas de comunicaciones efectivos pueden reducir costos y lograr avances en el progreso social.

Los sistemas de comunicaciones ópticos son considerados como la mejor opción en el futuro. En la actualidad, es el método más efectivo en costo para la transmisión de información digital. En todo el mundo, las fibras ópticas están reemplazando a otros medios de transmisión en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo sistemas troncales, redes telefónicas metropolitanas, y enlaces de transmisión submarinos. Dichos sistemas proporcionan importantes requerimientos de amplio ancho de banda, rentabilidad, seguridad, inmunidad a interferencias electromagnéticas, y presentan baja atenuación.

En un sistema de comunicaciones ópticas, el control de temperatura de la fuente de láser es importante para lograr un mejor desempeño del enlace.

I.1.-Antecedentes

El diodo láser es la fuente más utilizada para los sistemas de comunicaciones ópticas debido a sus características de: gran inyección de potencia óptica, buena anchura espectral, emisión coherente, buen patrón de haz, etc. Sin embargo, se pueden tener perturbaciones en la emisión de potencia óptica debida al envejecimiento, variaciones de alimentación y principalmente por variaciones de temperatura.

El controlador de temperatura, por lo tanto, es un sistema bastante utilizado para la investigación y el desarrollo tecnológico de los sistemas de comunicaciones ópticas.

I.2.- Importancia de Estudio

El desarrollo de un controlador de temperatura para diodo láser permitirá realizar prácticas de laboratorio, así como la investigación y/o desarrollo tecnológico de sistemas basados en diodos láser de semiconductor. Se empleara así mismo, un dispositivo termoeléctrico peltier y un termistor.

I.3.- Objetivo General

Diseñar y construir un controlador automático de temperatura para dispositivos láser de semiconductor para aplicación en sistemas de comunicaciones ópticas.

I.4.- Objetivos Específicos.

1. Recopilación de información
2. Utilizar circuitería electrónica convencional y circuitos de aplicación de control de temperatura existentes en el mercado para comparar el desempeño, flexibilidad de diseño y relaciona costo-beneficio entre ambos sistemas.
3. Implementar un sistema de alarmas, de protección, y de monitoreo al controlador de temperatura.
4. A diferencia de los controladores de temperatura que hay en el mercado que son hechos solamente para diodos láser con encapsulados tradicionales permitir la utilización de dichos dispositivos en "chip".Reducir costos para el control de temperatura de diodos láser de semiconductor utilizados en la investigación y el desarrollo tecnológico de los sistemas de comunicaciones ópticas.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

II.1 Introducción

En muchas aplicaciones el control de la temperatura activo mejora el funcionamiento de dispositivos opto electrónicos. En la mayoría de los detectores de estado sólido, el ruido disminuye con la temperatura de funcionamiento. La Responsividad o eficiencia también varía con la temperatura de funcionamiento y por lo tanto debe ser estabilizado con un control de temperatura activo. Las características de funcionamiento de los diodos láser también varían considerablemente con la temperatura: la longitud de onda de emisión, la corriente de umbral y el tiempo de vida del dispositivo. Por ejemplo, para un láser típico que emite una potencia de 3 mW a 780 nm, la longitud de onda de la emisión cambiará un promedio de 0,26 nm/°C y la corriente del umbral cambiará un promedio de 0,3 mA/°C. Para un láser típico del Telecom DFB funcionando a una longitud de onda de 1550 nm y una potencia de 20 mW, la longitud de onda cambiará un promedio de 0,11 nm/°C y la corriente del umbral cambiarán un promedio de 0,2 mA/°C. Además, el tiempo de vida de funcionamiento cae por un factor de dos para cada incremento de 25°C de la temperatura de funcionamiento. Afortunadamente, los dispositivos termoelectrónicos (Peltier) proporcionan una solución simple, confiable y una precisión de control de la temperatura en muchas aplicaciones de dispositivos opto electrónicos [1].

Para la realización del presente proyecto se desarrolló e implementó un sistema de lazo de control cerrado como se muestra en la figura 1. Los principales subsistemas de este controlador son:

- EL Sensor
- EL Acondicionamiento del sensor
- EL Amplificador sumador
- EL Procesamiento de la señal
- EL Amplificador bipolar

- LA etapa de potencia
- EL Modulo peltier

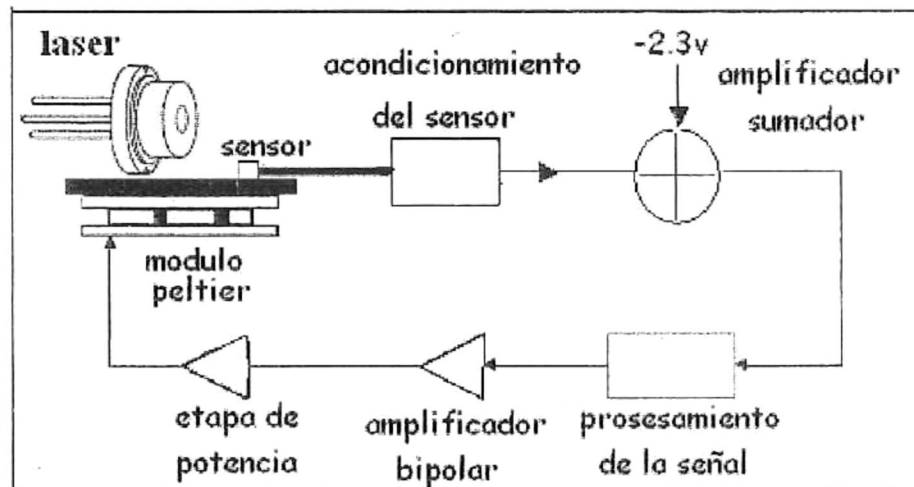


FIGURA 1 Diagrama a bloques del controlador de temperatura

Como se muestra en el diagrama de la figura 1, el dispositivo a controlar (el láser) es sentido por medio de un termistor, este elemento sensa los cambios de temperatura variando su valor de resistencia eléctrica. El nivel de referencia de entrada se hace por medio de un voltaje, por lo tanto, es necesario acondicionar a los cambios de resistencia en cambios de voltaje para hacer comparado con amplificador sumador (nodo de comparación). La información es procesada posteriormente utilizando un microcontrolador, el cual realiza la acción de control automático. El modulo peltier regula la temperatura del láser haciéndole pasar corriente en un sentido u otro. De esta forma, es necesario utilizar un amplificador bipolar y una etapa de potencia a partir de la señal de control.

II.2 MODULOS DE CONTROL

II.2.1 Sensor de Temperatura

El sensado de la temperatura se hace por medio de un termistor. Un termistor es un pequeño dispositivo de dos terminales (como se observa en la figura 2) que convierte a la temperatura en un valor de resistencia eléctrica. En la mayoría de las aplicaciones de dispositivos láser y de fotodetector el sensor de temperatura utilizado es un termistor de coeficiente negativo de temperatura (NTC) porque estos dispositivos ofrecen las siguientes ventajas:

- son baratos
- son exactos
- son altamente sensibles
- son fáciles de trabajar

Generalmente, su desventaja es que su resistencia es una función no lineal de la temperatura. Sin embargo, ésta no es realmente una desventaja si el control de la temperatura que se requiere es un punto fijo y hay pequeñas variaciones de temperatura.

En especial, para este proyecto se utilizara un termistor NTC de $10K\Omega_{25^{\circ}C}$.



FIGURA 2. Termistor NTC

II.2.2 Acondicionamiento de la Señal

Este en particular es un modulo muy importante ya que cumple con dos funciones indispensables para llevar a cabo el procesamiento de las señales: el aislamiento de la parte de sensado y la amplificación de la señal.

Se utiliza una configuración de un puente H de resistencias con una fuente de corriente (como se muestra en la figura 3) con el fin de estar siempre sensando una resistencia a una temperatura determinada por el termistor [2].

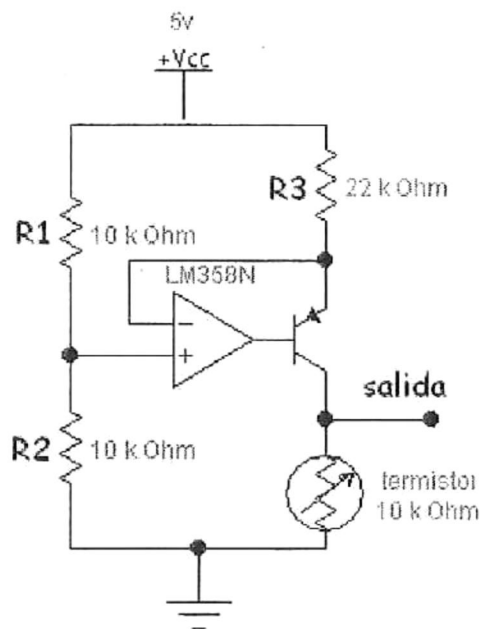


FIGURA 3 Configuración De Puente H Con Fuente De Corriente

Se utiliza una configuración seguidor emisor como se muestra en la figura 4 la cual cuenta con la característica de aislar la parte de sensado con la siguiente etapa [3].

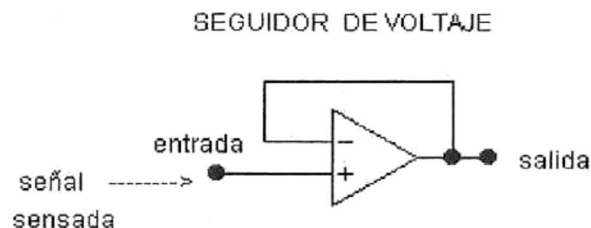


FIGURA 4 Configuración Seguidor Emisor

II.2.3 Amplificador Sumador

El circuito utilizado en este proyecto para el amplificador sumador esta basado en una configuración que emplea amplificadores operacionales como se observa en la figura 5 [4].

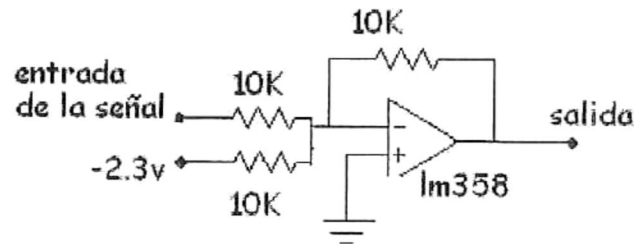


FIGURA 5 Configuración Sumador

Esta configuración es de gran importancia para la visualización de la temperatura ya que como nuestro termistor es de coeficiente negativo (NTC), al aumentar la temperatura la resistencia disminuye. Por lo tanto, al restarle un valor constante a la señal sensada nos da como resultado una respuesta creciente.

II.2.4 Procesamiento de la Señal

Este módulo es uno de los más importantes debido a que realiza la mayoría de las funciones: la rutina del control, la normalización o linealización del termistor, y su digitalización. Para llevar a cabo todas estas funciones se utiliza como herramienta principal un microcontrolador de la compañía "microchip" de la familia de los pic [5]. El pic seleccionado es el PIC16F876 (ver figura 6) ya que cumple con las siguientes características:

- Contiene 2 Puertos De 8bit y 1 De 6bit.
- Conversor A/D.
- Memoria Eprom.
- Se Puede Utilizar Una Pantalla LCD.

- Son Baratos.
- Son Pequeños 28 pines.
- Fácil Manejo En la Programación.

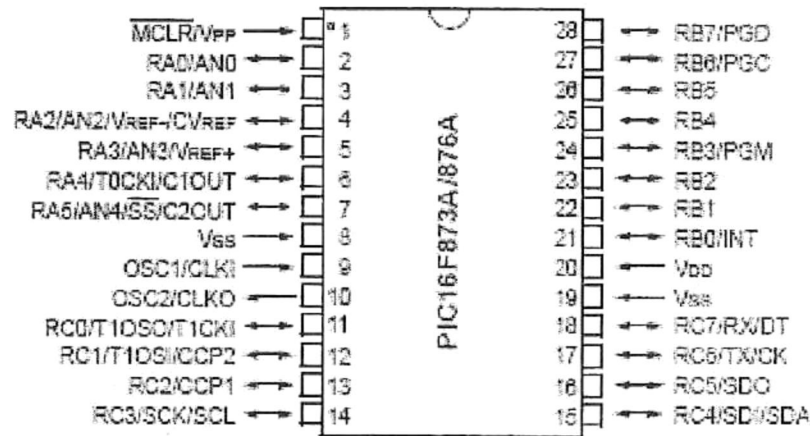


FIGURA 6 Pines Del PIC16F876

De manera general este "chip" realiza la etapa de lectura del sensor y al mismo tiempo digitaliza la señal por medio del convertidor A/D que contiene internamente, a su vez se despliega en una pantalla LCD el resultado de la señal procesada después se compara con un rango determinado por el usuario que graba los cambios realizados y al mismo tiempo se muestra en la pantalla, el "chip" decide cuando tendrá que enfriar o calentar al láser o simplemente no hacer nada.

II.2.5 Amplificador Bipolar

Este módulo es requerido debido a que el dispositivo termoeléctrico (peltier) a utilizar requiere de señales tanto positivas como negativas para calentar o para enfriar. Es por ello que se utiliza la circuitería que se muestra en la figura 7 [3].

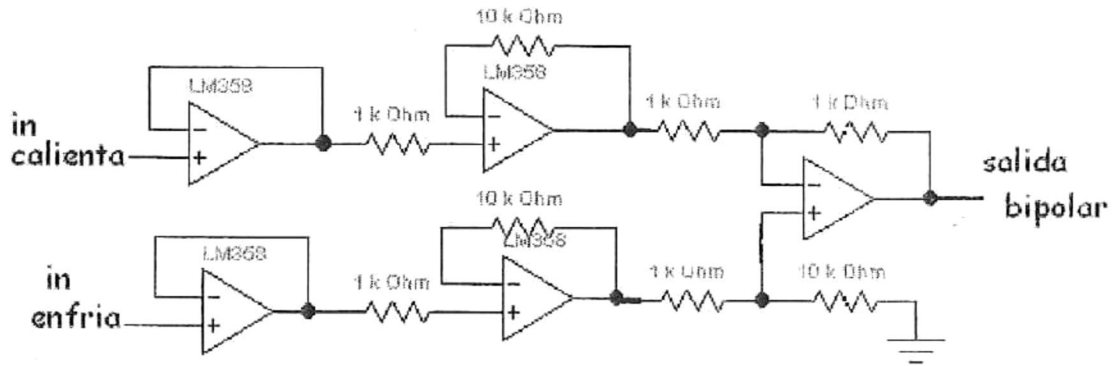


FIGURA 7 Diagrama De Un Amplificador Bipolar

En esta etapa se recibe la señal de salida del microcontrolador por medio de etapas de seguidor emisor, los cuales acoplan a la siguiente etapa, dependiendo de la salida enfría o caliente. Así mismo, se amplifica la señal recibida por el microcontrolador y se envía a una configuración diferencial la cual nos da como resultado un voltaje positivo o negativo.

II.2.6 Etapa de Potencia

En esta etapa se proporciona la corriente adecuada al dispositivo termoelectrico (peltier). Como se puede observar en la figura 8 en la entrada de la señal se encuentra por la pata no inversora un amplificador operacional, la salida a la base de los 2 transistores que se encuentran en modo complementario con el fin de proporcionar una corriente tanto positiva como negativa y la parte inversora del amplificador operacional se encuentra retroalimentada a la salida (los emisores) de los transistores dando como resultado la corriente demandada por el dispositivo peltier [2].

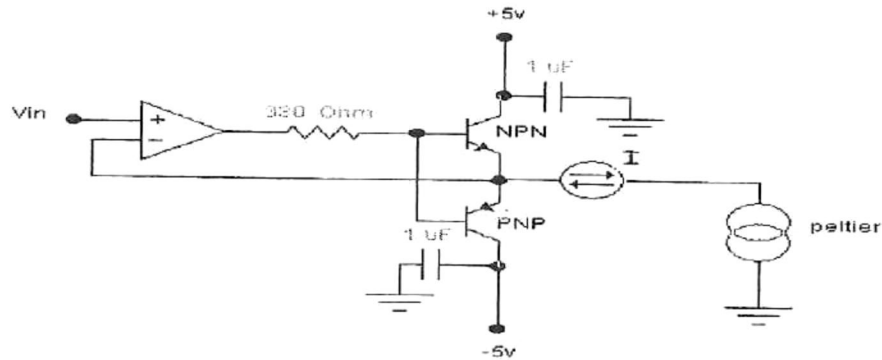


FIGURA 8 Diagrama De La Etapa De Potencia

II.2.7 Modulo Peltier

El dispositivo termoeléctrico (peltier) se encuentra en muchas aplicaciones que requieran control de la temperatura de precisión. El pequeño tamaño de estos dispositivos no influye que se tenga una precisión en el control térmico de componentes individuales tales como conductores ópticos del láser, referencias de voltaje de precisión, u otro dispositivo crítico que tenga dependencia con la temperatura. El control para este dispositivo requiere una fuente de energía capaz de proporcionar corrientes en un sentido u otro. El dispositivo a utilizar es de estado sólido y capaz de calentar cargas termales pequeñas de hasta 60°C de la temperatura ambiente. Debido a su flexibilidad termoeléctrica por medio de células peltier se encuentran disponibles en el mercado en muchos tamaños.

Para este caso el dispositivo peltier a utilizar es el FC0.6-12-06L como se muestra en la figura 9 [1].



FIGURA 9. Dispositivo Peltier

II.3 Selección del Termistor

II.3.1 Introducción

Un termistor es un dispositivo semiconductor cuya resistencia cambia con la temperatura. Los termistores son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura y pueden ser calentados externamente por el medio ambiente o internamente haciéndole pasar una corriente. Los cambios de resistencia pueden ser procesados con la circuitería adecuada para que se refleje en cambios de corriente o voltaje. Estas características los hacen muy adecuados en aplicaciones de medición y control de temperatura. Existen dos clases generales de termistores como se ilustran en la figura 10: Los NTC (coeficiente de temperatura negativo), y los PTC (coeficiente de temperatura positivo). Los NTC, por lo general son los más utilizados en aplicaciones de control de temperatura, en este caso la resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura y viceversa.

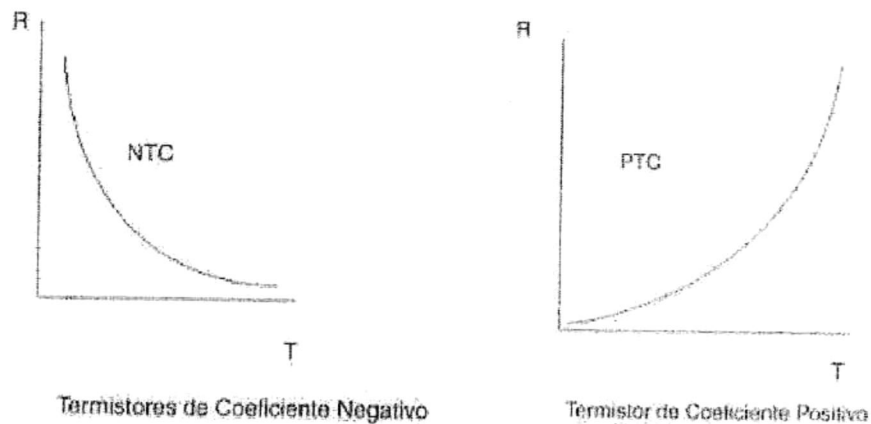


FIGURA 10 Grafica Del Termistor NTC Y PTC

II.3.2 Características del Termistor NTC

La mayoría de los termistores tienen un coeficiente negativo de la temperatura (NTC), el cual tiene un comportamiento en el que su resistencia en el medio disminuye cuando la temperatura se incrementa. Las características resistencia-temperatura de los termistores NTC más comunes se muestran de la figura 11.

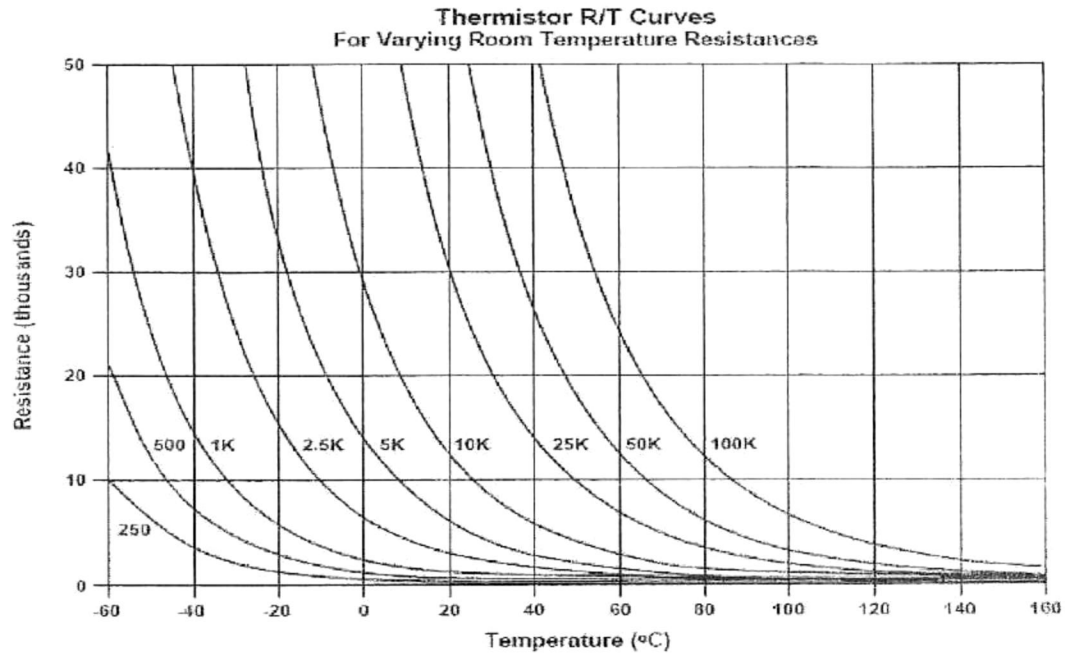


FIGURA 11. Curvas De Respuesta De Resistencia -Temperatura Para Nueve Termistores Comunes.

La curva de cada termistor es según su resistencia nominal a 25°C; esta gama de termistores comúnmente se encuentra disponible en los valores de 250Ω, a 100kΩ, con estos valores se logra el control de la resistencia durante el proceso de fabricación del termistor usando diversos óxidos de metal para formar la ensambladura de semiconductor. Los diferentes tipos de combinaciones de materiales para llegar a la misma resistencia nominal de 25°C, y para una diferente característica de resistencia-temperatura complica la selección del termistor. Sin embargo, las diferencias entre los termistores de la misma resistencia nominal son relativamente pequeño como se muestra en la grafica de la figura 12 [6].

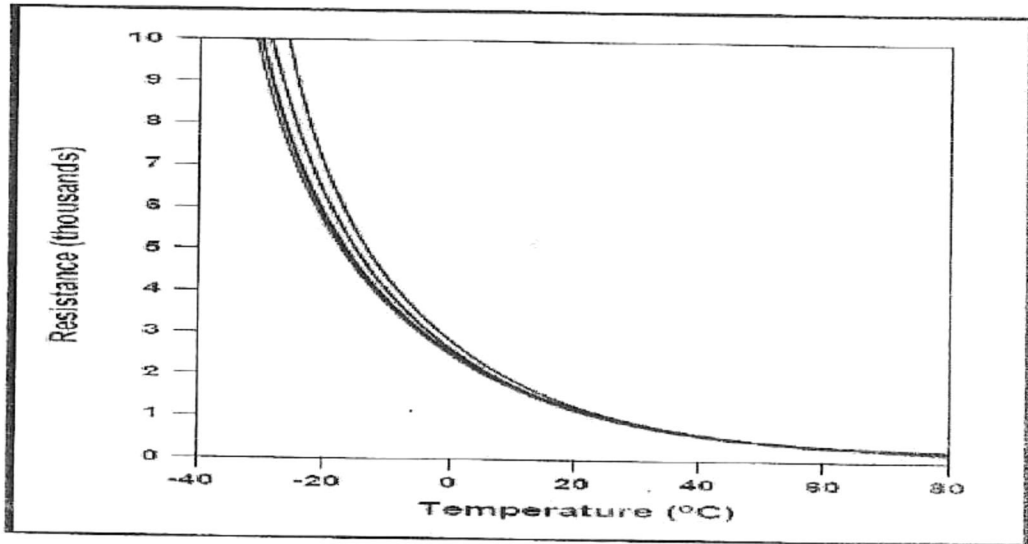


FIGURA 12 Cambios En La Curva De La R-T Para El Termistor Que Se Diferencia En Los Materiales Dopados.

Generalmente, los termistores funcionan en temperaturas donde la resistencia es del orden de los kilohmios con el objeto de que las altas resistencias, que pasan por dos hilos, puedan ser aceptablemente medidas con multímetros digitales convencionales,

II.3.3 Sensibilidad de la Temperatura

Los Termistores NTC alcanzan su sensibilidad más alta en las bajas temperaturas, donde la curva de resistencia contra temperatura es la más grande. Esta sensibilidad cae rápidamente con los aumentos de la temperatura. Para los valores de 10K típicos el termistor cuenta con una sensibilidad que varía como sigue: la sensibilidad de un termistor a bajas temperaturas, para este caso por debajo de -20°C tenemos aproximadamente para cada 5.6Ω se tiene como resultado un cambio de grado de temperatura

$$-20^{\circ}\text{C} \quad 5.600 \Omega / ^{\circ}\text{C}$$

$$25^{\circ}\text{C} \quad 439 \Omega / ^{\circ}\text{C}$$

$$50^{\circ}\text{C} \quad 137 \Omega / ^{\circ}\text{C}$$

El tipo de termistor que se elija dependerá sobre todo del funcionamiento requerido de una gama de temperaturas. Las curvas del R-T del termistor, como se observan en la grafica de la figura de la figura 11, son provistas generalmente por el fabricante del termistor, y proporciona una buena pauta para la selección del termistor. La gama de temperaturas es útil para observar como esta variando un termistor con el cambio de temperatura. La grafica de la figura 11 proporciona los datos para un termistor de $10\text{ k}\Omega$, que también puede ser utilizado con otros termistores. De la figura 11 se puede ver los termistores de $10\text{K}\Omega$ generalmente una buena opción para la mayoría de las aplicaciones con diodo láser, ya que con el uso de estos sensores se logra una alta estabilidad [7].

II.4 Efecto peltier

II.4.1 Antecedentes

Peltier físico francés (Ham, Francia, París, 1785-1845).

Relojero de profesión, abandonó su oficio cuando tenía treinta años, para dedicarse plenamente a la investigación científica en el campo de la electricidad. En 1834 descubrió que cuando circula una corriente eléctrica por un conductor formado por dos metales distintos, unidos por una soldadura, ésta se calienta o enfría según el sentido de la corriente (efecto Peltier). Dicho efecto ha tenido gran importancia en el desarrollo reciente de mecanismos de refrigeración no contaminantes. A Peltier se le debe también la introducción del concepto de inducción electrostática (1840), referido a la modificación de la distribución de la carga eléctrica en un material, bajo la influencia de un segundo objeto próximo a él y que tenga una carga eléctrica.

II.4.2 Introducción

Una célula de Peltier es un dispositivo termoeléctrico que convierte la energía eléctrica en energía calorífica. Estas células son una alternativa a la refrigeración mediante compresión y expansión de vapores con la absorción de calor correspondiente ya que estos circuitos frigoríficos requieren condensadores, evaporadores, compuestos refrigerantes y circuitos de expansión para llevar a cabo su labor. Dichas células basan

su funcionamiento en el efecto físico Peltier. Que están formadas por un número de parejas de semiconductores P-N, para poder bombear una cantidad de calor importante. Se pueden emplear tanto para enfriar como para calentar, La organización de los semiconductores en la célula peltier consiste en su conexión en serie eléctricamente y térmicamente en paralelo, situados entre dos placas cerámicas metalizadas.

II.4.3 Descripción del Efecto Peltier

En 1834 Jean C. Peltier observó que al pasar una corriente eléctrica a través de una ensambladura de metales diferentes, el calor se bombea de una placa metálica a la otra, dependiendo de dirección de la corriente de flujo. El efecto Peltier, que es como ahora se le conoce, es la base de todos los dispositivos termoelectrónicos.



Figura 13. Célula peltier

Como se puede observar en la figura 13. El método para enfriar al peltier se hace generalmente a partir de los dos bloques de semiconductor fuertemente dopados para crear un exceso (tipo-n) o una deficiencia (tipo-p) de electrones (Generalmente telurio de bismuto). El rendimiento de las células puede aumentar colocando en módulo varias células como se observa en la figura 14.

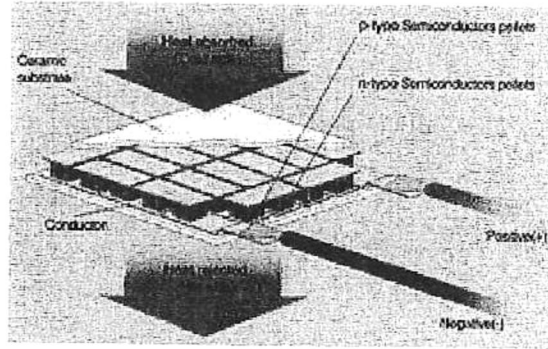


Figura 14. Modulo peltier de varias células

II.4.3.1 Funcionamiento Termoeléctrico

Un elemento termoeléctrico (TE) consiste de dos o más elementos de material semiconductor que están conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. Esos elementos y sus conectores están montados entre dos sustratos de cerámica. El sustrato sirve para mantener mecánicamente la estructura y para aislar eléctricamente los elementos individuales y del montaje externo como se puede observar en la figura 15.

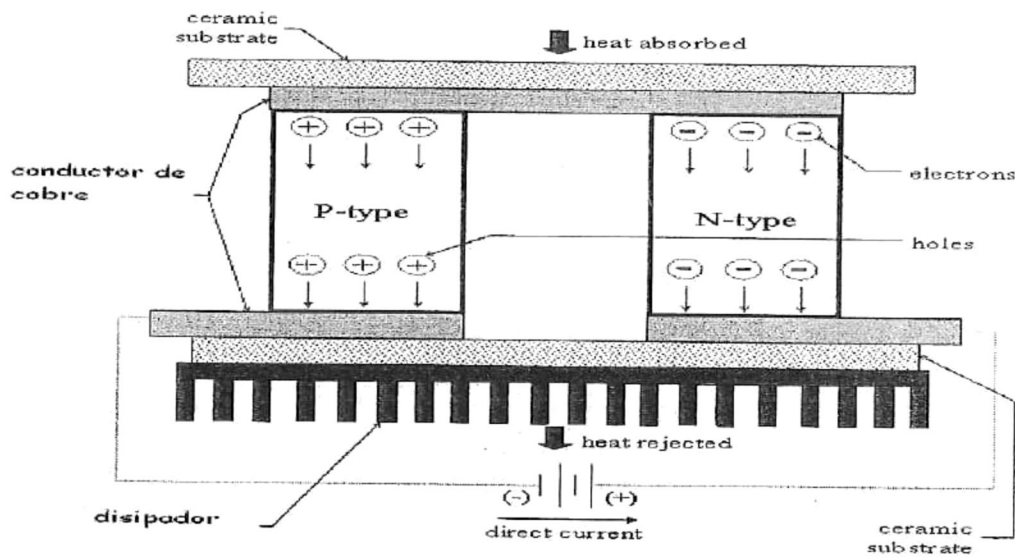


Figura 15. Esquema De La Célula peltier

El funcionamiento se puede entender de la siguiente manera: Los electrones pueden viajar libremente en el cobre, pero no así en los semiconductores. Cuando los electrones abandonan el cobre y entran en el lado caliente del tipo p, deben llenar un "agujero"(tipo P) para poder moverse a través del material. Cuando esto pasa, se libera energía. Esencialmente, los agujeros (en el tipo P) son movidos desde la parte fría hacia la parte caliente. Luego, como los electrones (tipo N) pasaron del tipo P al cobre, se absorbe energía en este proceso. Nuevamente, los electrones se mueven libremente a través del cobre, hasta que alcanzan la zona fría del semiconductor tipo N. Al ingresar en éste, ellos deben aumentar el nivel de energía para poder moverse a través del semiconductor, absorbiendo energía. Finalmente, cuando los electrones abandonan el lado caliente del tipo N, se pueden mover libremente en el cobre, liberando energía.

Como conclusión, Un dispositivo peltier consiste en una unión PN. En la cara fría los electrones pasan de un estado de menor energía (en el semiconductor de tipo P) a uno de mayor energía (en el de tipo N). En la cara caliente los electrones pasan de un estado de mayor energía a uno de menor energía emitiendo calor en el proceso. De esta forma actúa como una bomba de calor cuya parte fría o caliente pueden invertirse cambiando la polaridad.

II.4.3.2 Materiales Termoeléctricos

El material termoeléctrico semiconductor más usado en módulos peltier actualmente es una aleación de Bismuto Telurio (Bi_2Te_3) que es apropiadamente dopado para obtener elementos tipo N(negativo) y tipo P(positivo). Hay otros materiales, como son Teluro de Plomo (PbTe) o Siliciuro de Germanio (SiGe), que sirven para otro tipo de situaciones específicas (como son rangos de temperatura muchos mayores). En la figura16 se puede ver la figura de mérito o rendimiento de cada una contra la temperatura

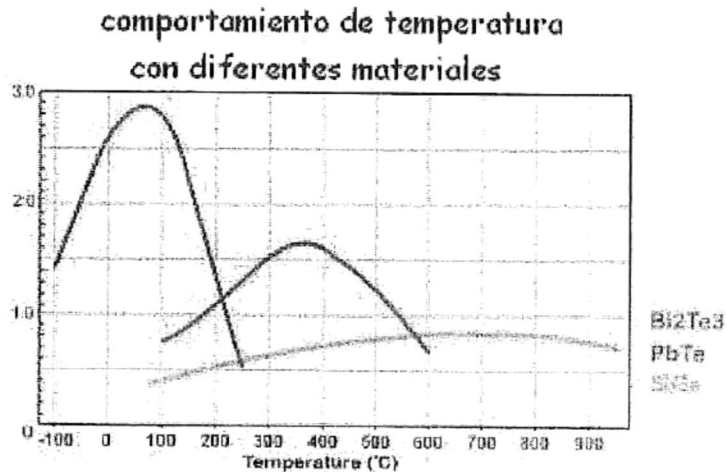


Figura 16. Figura de mérito o rendimiento de materiales más comunes

Se puede ver que para temperaturas cercanas a las del ambiente el Bismuto Telurio (Bi_2Te_3) es el que tiene mejor rendimiento.

II.4.4 Ventajas y Desventajas de las Células Peltier

Existen una serie de ventajas e inconvenientes en la utilización de dichas células como elemento refrigerador frente a otro tipo de elementos:

- Debido a que no existen elementos móviles, existe un menor desgaste, aumenta la durabilidad y la fiabilidad, es decir las averías son menos probables.
- El mantenimiento es reducido.
- El control de la temperatura es más sencillo debido a que la temperatura que se obtiene en la célula es proporcional a la corriente eléctrica, a diferencia de otros elementos en los que se emplean compresores y elementos químicos, donde hay que controlar presiones de vaporización, de compensación, etc.
- Las células pueden trabajar en multitud de entornos.

- Debido a que, para su fabricación se usan semiconductores y existe una tecnología desarrollada en este campo se pueden conseguir células de dimensiones reducidas siendo esto importante en sistemas donde las dimensiones o peso sean un requisito a tener en cuenta.
- Bajo costo.
- Producción de frío y calor indistintamente simplemente invirtiendo la polaridad de la tensión aplicada.
- Son totalmente silenciosas, así como no producir vibraciones.
- Fácil variación de la potencia refrigerante, actuando sobre la tensión de alimentación.
- Puede funcionar en cualquier posición.

También existen una serie de desventajas:

- La capacidad de extracción de calor es reducida si se compara con otros dispositivos. Debido a este el número de aplicaciones en las que existe viabilidad de uso para dichas células se ve reducido.
- Debido a que una de las caras se calienta, es necesario dependiendo el tipo de aplicación y el lugar donde estén situadas las células, refrigerar la célula para no dañar la misma o para que no se dañen otros componentes cercanos a la célula.
- Debido a la temperatura que puede alcanzar esta en función de la temperatura de soldadura utilizada en la fabricación, por lo se debe mantener la temperatura por debajo de dichos límites para evitar la destrucción de la célula.

II.4.5 Disipador de Calor

Como en todo momento el calor es transferido desde la parte fría hacia la parte caliente, es necesario que ésta contenga un disipador de calor para expulsar hacia al medio ambiente el calor bombeado por el módulo justamente para que no se eleve la temperatura.

Un disipador perfecto tiene que ser capaz de absorber una ilimitada cantidad de calor sin incrementar su temperatura. Como esto en la práctica es imposible, se espera que tenga un buen flujo de calor, y su temperatura no sobrepase los 20 °C de la temperatura ambiente.

Una forma de evaluar el rendimiento es la siguiente

$$Q_s = \frac{T_s - T_a}{Q}$$

Donde

Q_s es la resistencia térmica en °C / W

T_s es la temperatura del disipador en °C

T_a es la temperatura ambiente o del refrigerante en °C

Q es el calor ingresado al disipador en W

Mientras menor es Q_s , mayor rendimiento de disipador. Q_s igual a cero sería el caso ideal.

Hay tres tipos de disipadores de calor:

1. Por convección natural

El calor es liberado en forma natural al medio ambiente. Son más usados para aplicaciones de baja potencia. Los valores de Q_s están entre 0,5 °C / W y 10 °C / W

2. Por convección forzada

El calor es liberado al medio ambiente, pero ayudado por un ventilador. Como se muestra en la figura 17 se puede ver la forma de funcionamiento:

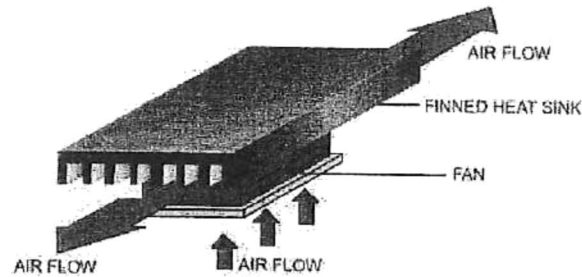


Figura 17. Funcionamiento de un disipador de calor forzado

Éste es probablemente el método más usado, pues son baratos y sencillos de montar. El Q_s normalmente se encuentra en los 0,02 a 0,5 °C / W.

3. Por líquido refrigerante

Éste provee la más alta eficiencia por unidad de volumen, y tiene una baja resistencia térmica, aproximadamente entre 0,01 y 0,1 °C / W. Generalmente están hechos de aluminio o cobre, con agua como líquido refrigerante.

II.4.6 Aplicaciones

- Intercambiadores de calor compactos
- Dispositivos de enfriamiento de precisión (LASERs)
- aparatos de medicina
- Detectores infrarrojos
- Enfriadores para microprocesadores
- Refrigeradores (para autos, hoteles, farmacéutico)

II.4.7 Precios de Células Peltier

II.4.7.1 Estándar

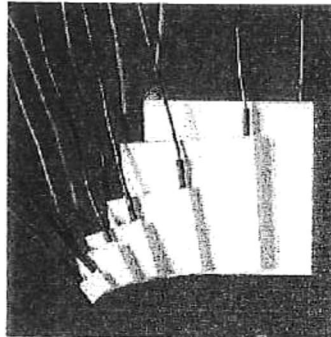


Figura 18. Células Peltier Estándar

Desde

U\$S 13,40

($I_{\max} = 1,9 \text{ A}$, $Q_{\max} = 1 \text{ W}$, $V_{\max} = 0,9 \text{ V}$, $DT_{\max} = 72 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Hasta

U\$S 47,70

($I_{\max} = 16,1 \text{ A}$, $Q_{\max} = 156 \text{ W}$, $V_{\max} = 15,7 \text{ V}$, $DT_{\max} = 69 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

II.4.7.2 Multi-Estado

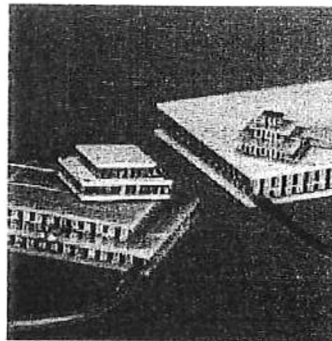


Figura 19. Células Peltier Multi-Estado

Desde

U\$S 34,60

($I_{\max} = 1 \text{ A}$, $Q_{\max} = 0,4 \text{ W}$, $V_{\max} = 1,3 \text{ V}$, $DT_{\max} = 93 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 estados)

Hasta

U\$S 137,90

($I_{\max} = 2,8 \text{ A}$, $Q_{\max} = 0,5 \text{ W}$, $V_{\max} = 8,9 \text{ V}$, $DT_{\max} = 131 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 4 etados)

II.4.7.3 Alto Desempeño

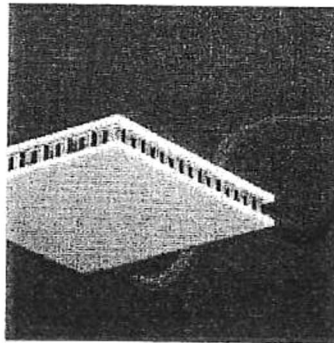


Figura 20. Células Peltier De Alto Desempeño

Desde

U\$S 12,20

($I_{\max} = 3,6 \text{ A}$, $Q_{\max} = 36 \text{ W}$, $V_{\max} = 16,1 \text{ V}$, $DT_{\max} = 71 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Hasta

U\$S 27,80

($I_{\max} = 11,3 \text{ A}$, $Q_{\max} = 172 \text{ W}$, $V_{\max} = 24,6 \text{ V}$, $DT_{\max} = 67 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

II.4.7.4 Alta Temperatura (hasta 150 °C)

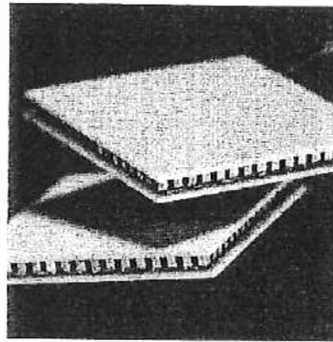


Figura 21. Células Peltier De Alta Temperatura

Desde

U\$S 16,30

($I_{\max} = 6,1 \text{ A}$, $Q_{\max} = 62 \text{ W}$, $V_{\max} = 16,3 \text{ V}$, $DT_{\max} = 72 \text{ °C}$)

Hasta

U\$S 30,10

($I_{\max} = 11,3 \text{ A}$, $Q_{\max} = 172 \text{ W}$, $V_{\max} = 24,6 \text{ V}$, $DT_{\max} = 67 \text{ °C}$)

Donde

I_{\max} es la corriente máxima del dispositivo peltier

Q_{\max} es el calor máximo permitido por el dispositivo

V_{\max} es el voltaje máximo del dispositivo

DT_{\max} es la máxima diferencia de temperatura es una manera de poder visualizar la confiabilidad

III DISEÑO Y CONTRUCCION DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

III.1 Introducción

El controlador de temperatura se basa en el diagrama a bloques de la sección anterior [figura 1] y se describe en tres etapas principales:

- Etapa de sensado
- Etapa de control
- Etapa de amplificación

III.2 Etapa de Sensado

Para el desarrollo del controlador de temperatura primero se realiza el sensado de la temperatura por medio de un termistor como se muestra en el circuito de la figura 14, que además de realizar la etapa de sensado también cuenta con una fuente de corriente con el fin de tomar datos de temperatura con respecto a un voltaje y así garantizar una respuesta adecuada de nuestro sensor.

III.2.1 Cálculo de la Fuente de Corriente

Como se puede observar en el circuito de la figura 22, el termistor es sensado por medio de circuito Puente de resistencias. La fuente de corriente esta constituida por el amplificador operacional y el transistor [2].

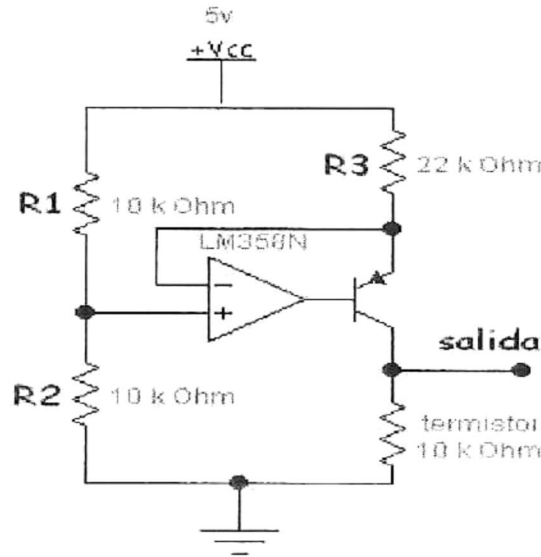


FIGURA 22. Circuito De Sensado y Fuente De Corriente

Se tiene un voltaje de alimentación de 5v y por medio de las resistencias R1 y R2 se forma un divisor de voltaje, que convierte el voltaje a la mitad debido a que sus resistencias son iguales (por lo tanto se tiene un voltaje de 2.5v), este voltaje se aplica a la entrada no inversora del amplificador operacional. Considerando al amplificador ideal se tienen estos 2,5v constantes en la resistencia R3 y en el emisor del transistor. Para lograr una corriente constante se calcula el valor de la resistencia R3, para nuestro caso es necesario aplicar una corriente de 100µA por lo tanto realizando los cálculos se tiene que:

$$R3 = V / I \text{ (deseada)} \dots \dots \dots (1)$$

$$R3 = 2.5v / 100 \mu A = 25K\Omega \dots \dots \dots (2)$$

Con un voltaje y corriente de:

$$V = 5V$$

$$I = 100\mu A$$

Posteriormente se obtuvo el voltaje de salida del circuito a diferentes temperaturas como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Temperatura Con Respecto Al Voltaje De Salida De La Fuente De Corriente

TEMPERATURA en °C	VOLTAJE en volts	TEMPERATURA en °C	VOLTAJE en volts
1		39	0.544
2		40	0.517
3		41	0.499
4		42	0.483
5	2.31	43	0.477
6	2.25	44	0.466
7	2.16	45	0.442
8	2.08	46	0.435
9	2.03	47	0.417
10	1.96	48	0.386
11	1.82	49	0.375
12	1.77	50	0.4
13	1.65	51	0.371
14	1.58	52	0.344
15	1.48	53	0.324
16	1.41	54	0.318
17	1.37	55	0.305
18	1.321	56	0.291
19	1.28	57	0.289
20	1.22	58	0.273
21	1.148	59	0.261
22	1.112	60	0.254
23	1.053	61	0.243
24	1.02	62	0.239
25	1.005	63	0.226
26	0.982	64	0.231
27	0.962	65	0.238
28	0.883	66	0.215
29	0.836	67	0.191
30	0.782	68	0.18

31	0.745	69	0.172
32	0.716	70	0.168
33	0.699	71	0.159
34	0.652	72	0.159
35	0.628	73	0.156
36	0.611	74	0.153
37	0.594	75	0.15
38	0.577	76	0.147
39	0.544	77	0.144
40	0.517	78	0.14
41	0.499	79	0.132
		80	0.12

En la figura 23 se puede observar el comportamiento de la respuesta de la temperatura con respecto al voltaje basándose en los datos de la tabla 1 y utilizando un programa realizado en "matlab" (ver apéndice A).

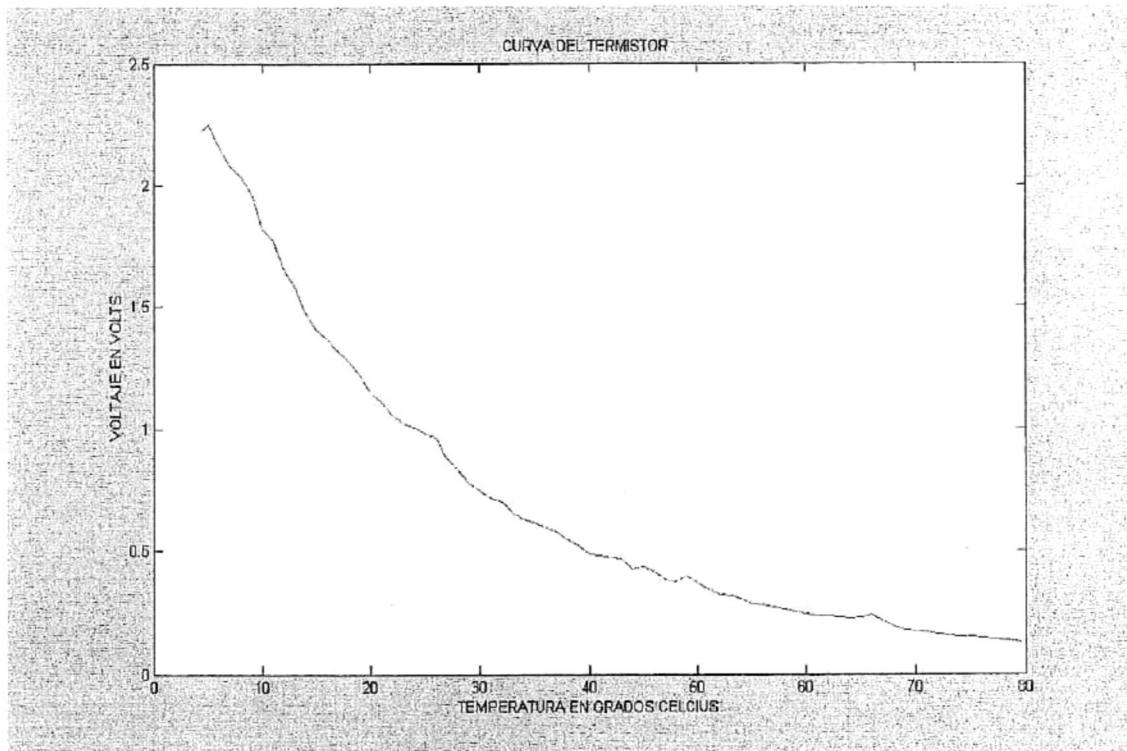


Figura 23 Curva De Voltaje En Función De La temperatura Del Termistor.

Como se puede observar en la grafica de la figura 23, se obtiene una respuesta negativa por lo tanto, se utiliza un circuito sumador basado en un amplificador operacional para pasar nuestra señal a una respuesta positiva. Lo anterior se obtiene utilizando el circuito de la figura 5. Donde se aplica un voltaje de referencia negativo de $-2.3v$, que consideramos nuestro limite. Este voltaje negativo se suma con el voltaje determinado por el termistor teniendo como resultado un voltaje con respuesta positiva como se muestra en la gráfica de la figura 24.

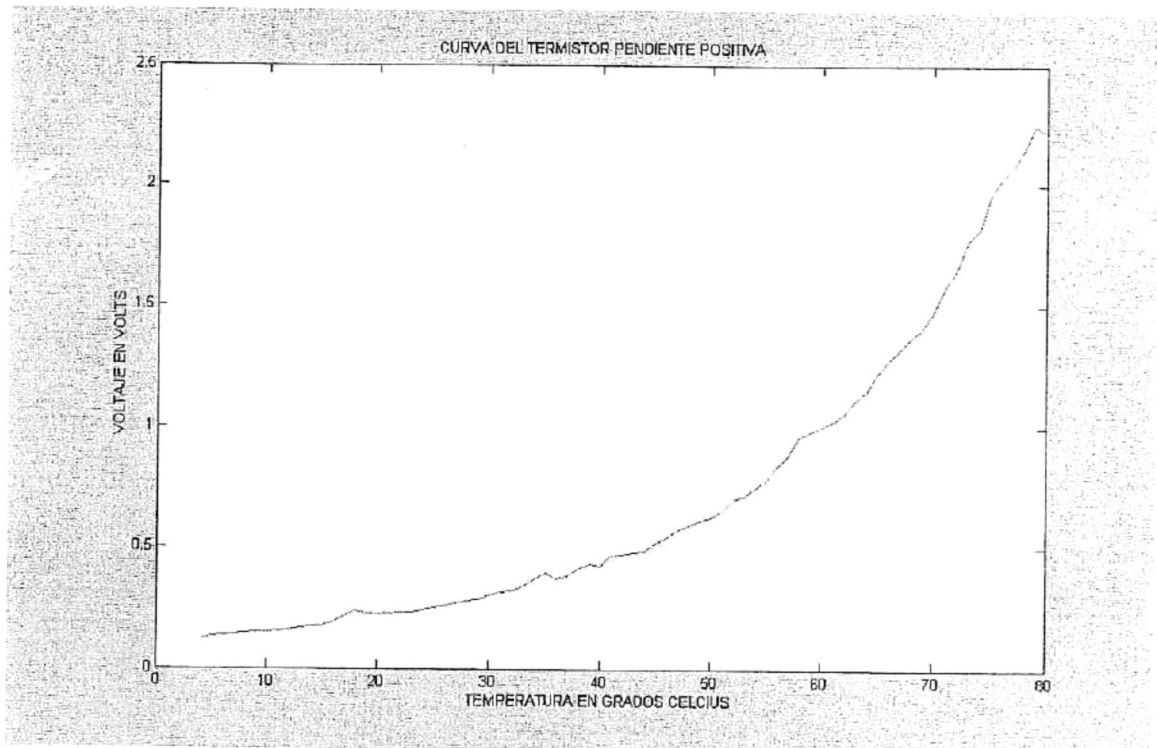


Figura 24 Curva Del termistor Modificada Aplicando Un Voltaje De Referencia

Esta conversión de datos ascendentes a descendentes fue necesaria debido a que se despliegan los datos de temperatura de una forma sencilla en la pantalla de display LCD.

III.3 Etapa de Control

Esta etapa emplea la señal sensada y se basa en un microcontrolador PIC16F876A, se selecciono este microcontrolador por las siguientes características:

- contiene un convertidor analógico a digital
- cuenta con 21 puertos de entrada/salida
- se puede manejar un display LCD
- contiene una memoria eeprom (se pueden grabar datos).
- es barato
- es pequeño

III.3.1 Rutina del Convertidor A/D

Debido a que la señal sensada por el termistor es analógica es necesario hacer una digitalización. El código de la rutina del convertidor analógico a digital se muestra en el anexo B y la secuencia utilizada se muestra a continuación [8]:

1.- inicialización del modulo convertidor A/D

- entrada analógica y con voltaje de referencia por medio el registro ADCON1 / PCFG0-3
- Selección de conversión A/D de reloj por medio del registro ADCON) / ADCS0-1.
- se establece como encendido el convertidor A/D con el registro ADCON0/ADON

2.- configuración de la entrada del canal

- la selección de la entrada del convertidor A/D se hace por medio del bit del puerto AN0 por medio del registro ADCON0/CHS0-2

3.- retardo de tiempo para garantizar la conversión A/D 20µs

4.- iniciar conversión por medio del registro ADCON0 / GO=1

5.- esperar que la conversión este completa y una vez que se termina la conversión poner a cero el bit GO del registro ADCON0

6.- leer el resultado de la conversión A/D por medio de los registros ADRESH,ADRESL

7.- para una nueva conversión brincar al paso 4

III.3.2 Linealización del Termistor

Una vez que se digitalizo la señal lo siguiente es linealizar la respuesta del termistor para ello se optó por usar el método de mínimos cuadrados debido a que este método determina la recta que mejor se adapta a los puntos de nuestra curva.

Para un valor de x determinado, la recta de ajuste proporciona un valor diferente de y del medido en el experimento. Esta diferencia será positiva para algunos puntos y negativa para otros, puesto que los puntos se disponen alrededor de la recta. Por este motivo, la suma de estas diferencias para todos los puntos es poco significativa (las diferencias negativas se compensan con las positivas).

Por ello, para medir los puntos de la recta que mejor se ajusta a nuestra curva, se emplea la suma de los cuadrados de las diferencias, con los que nos aseguramos de que todos los términos son positivos. Esta suma tiene la forma:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 \dots\dots\dots(3)$$

La función polyfit del programa de matlab proporciona los coeficientes de un polinomio que ajusta una nube de puntos en el sentido de mínimos cuadrados por lo tanto utilizando el programa (ver apéndice A) tenemos que:

El polinomio ajustado es el siguiente:

$$y = 0.0247x - 0.3257 \dots\dots\dots (4)$$

Como se puede observar el resultado nos da una pendiente de la forma $y=mx + b$ por lo tanto este resultado es el indicado para poder normalizar o linealizar nuestro termistor.

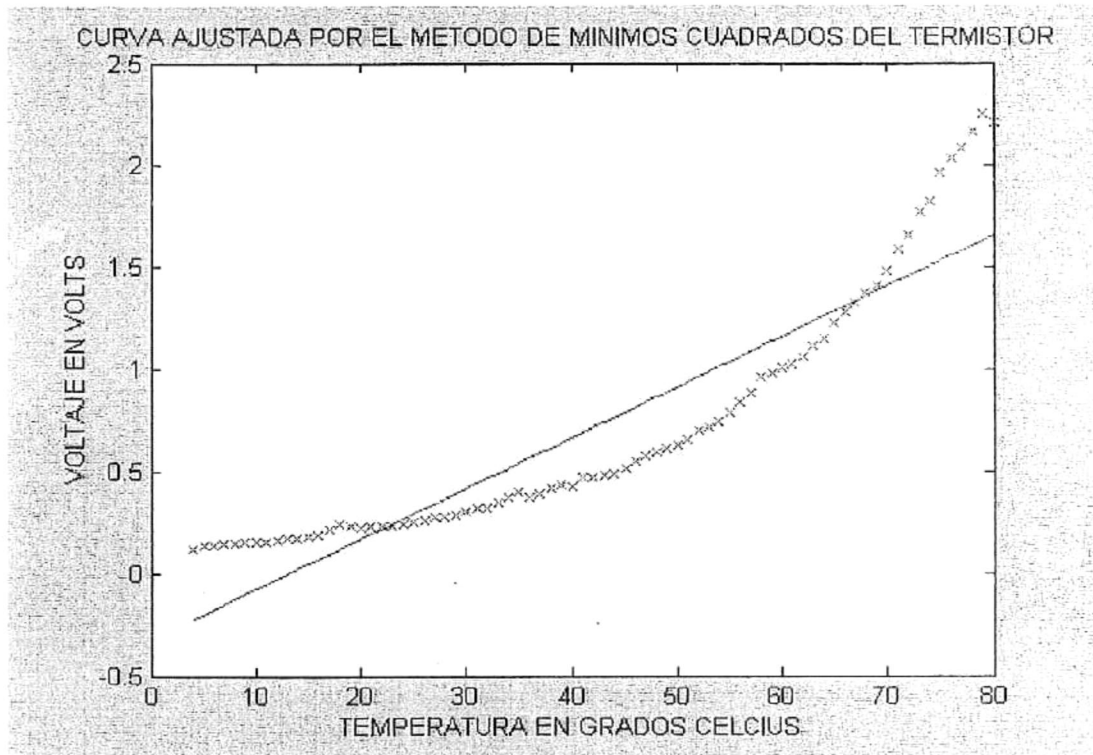


Figura 25. Curva Ajustada Por El Método De Mínimos Cuadrados

Observando la grafica 25 tenemos que los puntos representan las mediciones del sensor, y la recta es el polinomio de grado 1 ajustado.

El coeficiente de la recta es 0.0247, pero para efectos de manejo de aritmética de punto fijo, en el microcontrolador lo tomamos con un 250. El cruce por el eje del polinomio ajustado es -0.3257 por lo tanto para el manejo de aritmética de punto fijo, en el microcontrolador lo tomamos como -32.

Por lo tanto la ecuación en el PIC quedaría de la forma:

$$y = 250x - 32 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

Y Nivel De Voltaje

X Temperatura

Despejando x tenemos:

$$x = y/250 + 32 \dots\dots\dots (6)$$

Como los datos tomados son una función del voltaje, no de un número en la conversión A/D, es necesario multiplicar el dato de la conversión A/D por su resolución, para obtener así un nivel de voltaje nuevamente.

$$\text{RESOLUCION} = (VCC / 2^{\#BIT} - 1) \dots\dots\dots (7)$$

Por lo tanto, para un voltaje de 5 v aplicado al convertidor A/D tenemos que:

V=5v

#BIT=10

Resolución=?

$$\text{Res} = (5 \text{ v} / 2^{10} - 1) = 0.004887 \text{ V} \dots\dots\dots (8)$$

Para efectos de manejo de aritmética de punto fijo, en el microcontrolador lo tomamos como 49.

Manejando entonces los números dentro del PIC, tenemos:

X=TEMPERATURA

Y= (Registros A/D * RESOLUCION DEL PIC)=VOLTAJE DEL TERMISTOR

$$\text{TEMPERATURA} = (\text{Registros A/D} * 49)/250 + 32 \dots\dots\dots (9)$$

El código de la rutina de la linealización del termistor se muestra en el anexo B y la secuencia utilizada se muestra en la figura 27.

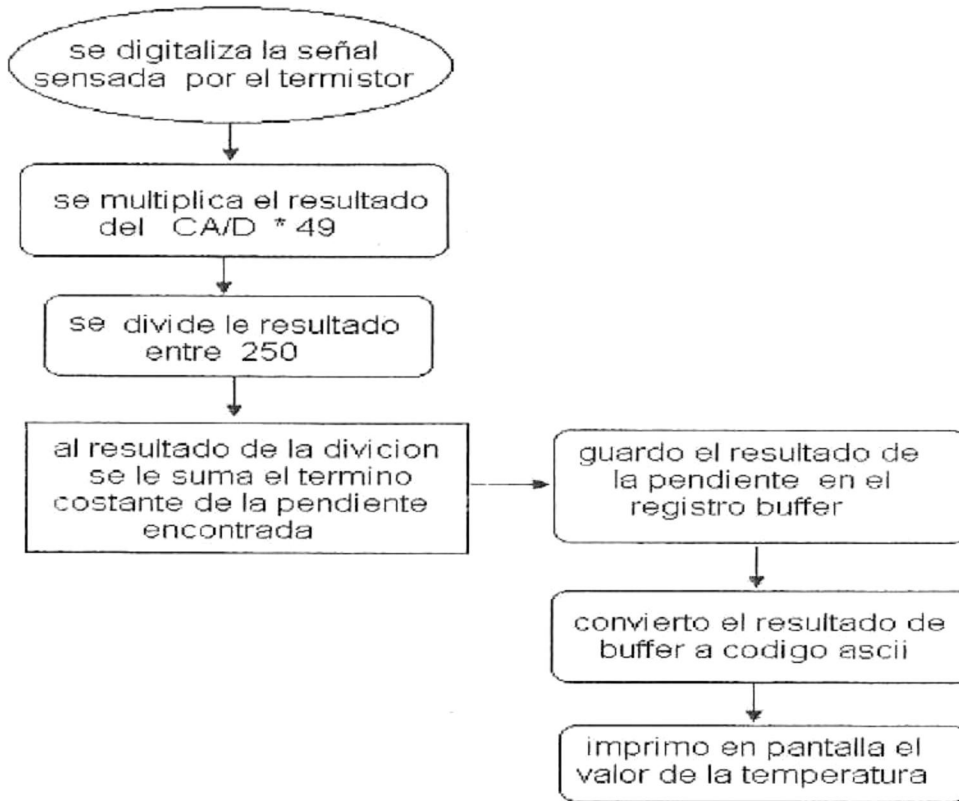


Figura 26. Diagrama a Bloques De La Linealización Del Termistor

III.3.3 Visualización de la Temperatura

Para llevar a cabo el despliegue de la temperatura fue utilizada una pantalla OPTREX LCD 20481 NY-LY-AGE, que es una pantalla de cristal líquido con una matriz de 20 X 4 como se muestra en la figura 27 [9].

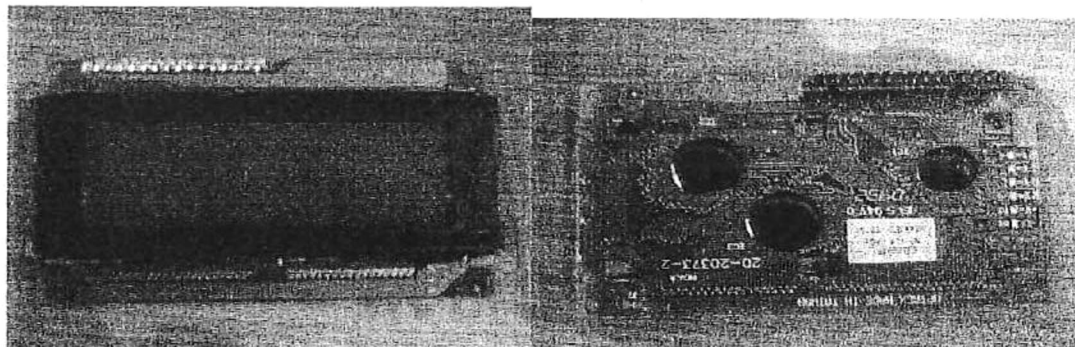


FIGURA 27.- Pantalla LCD De 20 Caracteres Por 4 Filas

La rutina de programación se encuentra en el apéndice B y la secuencia utilizada se encuentra en la figura 28.

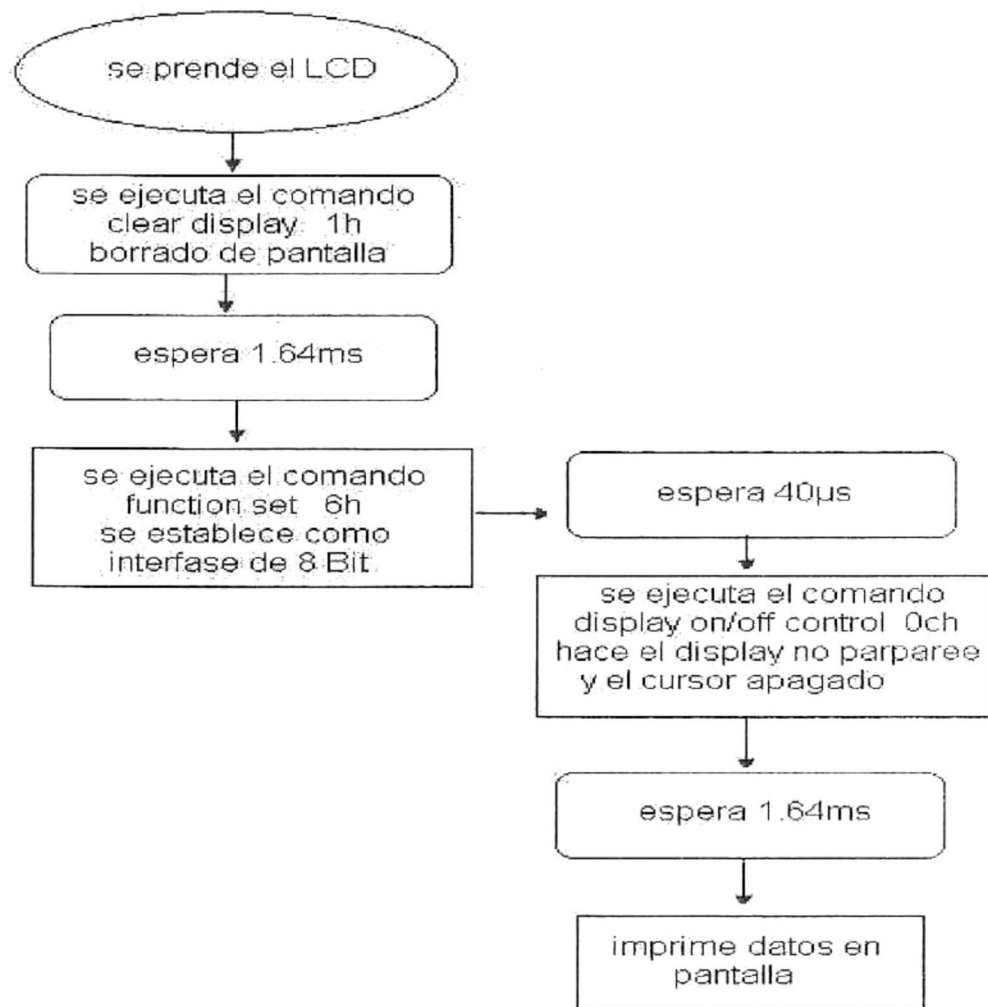


Figura 28. Secuencia De Visualización Para Un Display LCD

III.3.4 Rutina de Control

Para definir nuestra etapa de control nos basamos en el principio de un termostato. Entonces para explicar el su funcionamiento lo dividiremos en 2 partes:

1. sensando temperatura
2. control de la temperatura

El primer paso prácticamente ya se ha descrito las secciones anteriores como es el sensor de temperatura el cual utiliza un termistor que actuará como un termómetro ya que este valor de temperatura que se esta sensado va actuar en complemento con el segundo punto que ya en si es la parte de control. Por lo tanto los pasos ya vistos son:

- aplicación de la rutina del convertidor A/D
- aplicación de la rutina de linealización por mínimos cuadrados
- el resultado de la operación por mínimos cuadrados que se despliega en la pantalla del LCD

Ahora el segundo paso consiste en hacer la rutina de control para llevar a cabo nuestro objetivo. Para ello se diseño una rutina de control en la que se pudiera acsesar a un rango de temperatura mínimo y un máximo en la cual se modificara con cuatro botones 2 para seleccionar un mínimo y otros 2 botones para seleccionar un maximo la rutina empleada para este control se encuentra en el apéndice B

III.4 Etapa de Amplificación

Para la realización de esta etapa nos centraremos en la salida que nos entrega el microcontrolador hasta la etapa de potencia. Como ya vimos esta salida es dada por los pines 6 y 7 del puerto C.

III.4.1 Acoplamiento de Salida

Ahora para poder acoplar tanto la parte de salida del PIC como a la entrada amplificadora se utilizan 2 circuitos seguidor emisor como se observa en la figura 29, los cuales tienen la característica de que aparte de aislar la entrada con la salida nos proporcionan corriente.

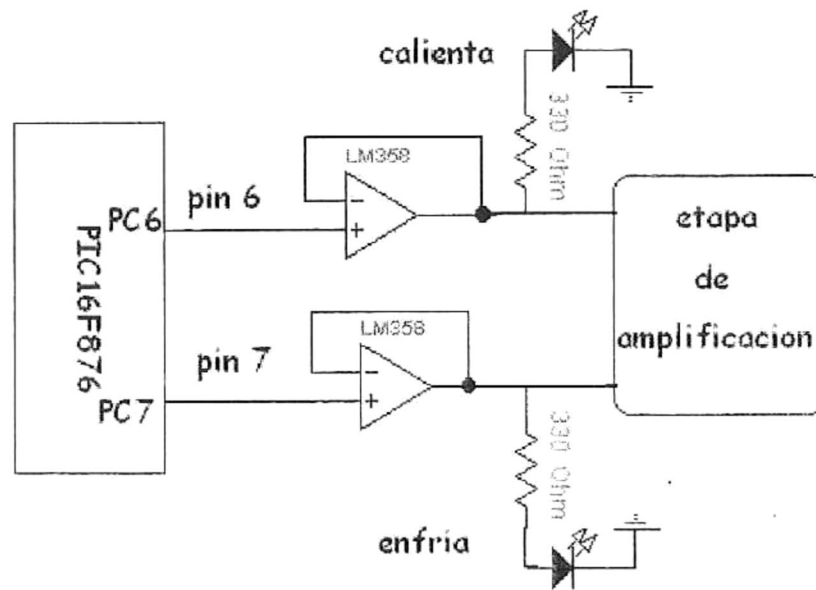


FIGURA 29. Etapa De Acoplamiento De salida

Una vez que se aísla la parte del microcontrolador con la etapa amplificadora el siguiente paso es convertir a una señal bipolar, esto es necesario debido a las características que presenta el dispositivo termoelectrico a utilizar. Además, utiliza una alarma en la que por medio de diodos emisores de luz (LED) se indica cuando la temperatura esta fuera del intervalo establecido por el usuario.

III.4.2 Amplificación Diferencial

Antes de aplicar lo que es el amplificador diferencial es necesario amplificar la señal proporcionada por el microcontrolador, de esta forma se utiliza el circuito de la figura 30^a [4].

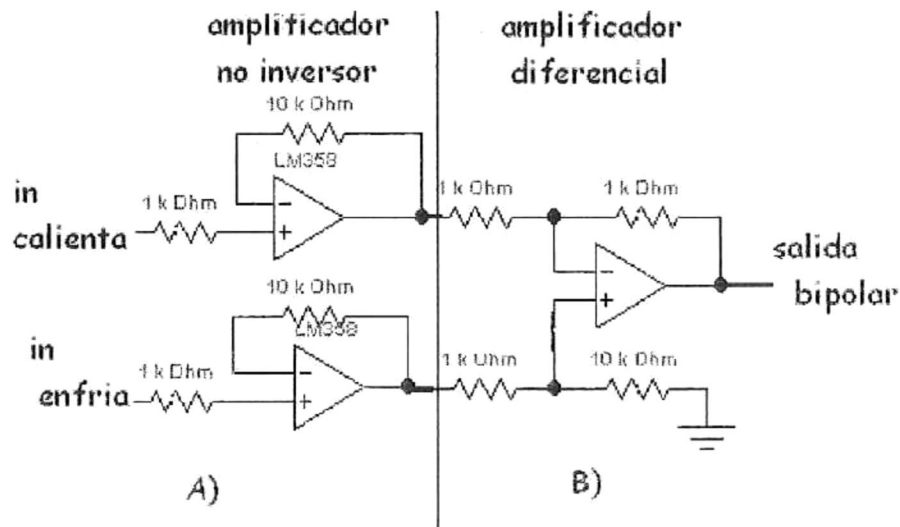


FIGURA 30. A) Amplificador No Inversor B) amplificador Diferencial

Por lo tanto, para poder proporcionar la ganancia necesaria a la señal del microcontrolador se utilizo un amplificador no inversor en el cual haciendo los cálculos tenemos que:

$$\text{Ganancia en Voltaje del Circuito} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots(10)$$

$$G=1+(10k / 1k)$$

$$G= 11 \dots\dots\dots (11)$$

Una vez que se ha amplificado la señal el siguiente paso es integrar los 2 voltajes dados por el microcontrolador ya que la corriente se debe proporcionar por un solo hilo por lo tanto el circuito que cumple con estas características el que se encuentra en la figura 30b. el cual tiene como principal objetivo amplificar la diferencia entre dos voltajes de entrada y darnos un voltaje positivo o negativo como se observa en la siguiente demostración:

Dado que por la elevada resistencia del amplificador operacional no circula corriente entre las dos terminales de entrada, no hay caída de voltaje y, por lo tanto, las

dos entradas X están al mismo potencial. El voltaje V2 está en las resistencias en serie R1 y R2. El potencial Vx en X , como se muestra en la figura 31 es [3]:

$$\frac{V_x}{V_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(12)$$

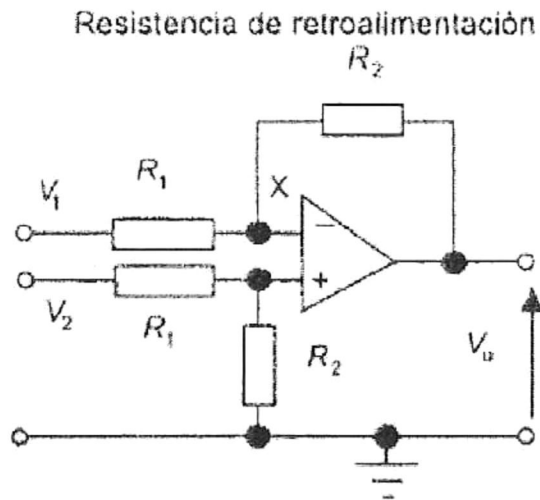


FIGURA 31. Configuración Amplificador Diferencial

La corriente que pasa por la resistencia de retroalimentación debe ser igual a la de V1 y que pasa por R1. Por lo tanto:

$$\frac{V_1 - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_0}{R_2} \dots\dots\dots(13)$$

La cual se puede reordenar para obtener:

$$\frac{V_0}{R_2} = V_x \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) - \frac{V_1}{R_1} \dots\dots\dots(14)$$

Sustituyendo Vx en base a la ecuación anterior:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \dots\dots\dots(15)$$

Es decir, la salida es una medida de la diferencia entre los dos voltajes de entrada.

Por lo tanto, como nosotros vamos a depender de la salida que nos proporcione el microcontrolador entonces tenemos 3 opciones:

- Hay un voltaje debido a que sobrepaso el rango establecido
- Hay un voltaje porque esta por debajo del rango establecido
- La salida es cero porque se encuentra dentro del rango

Cuando se da la primera opción el funcionamiento del amplificador diferencial es clave debido a que va ha ver un voltaje por una entrada (V1) y la otra será cero (V2) por lo tanto, observando la ecuación (12) tenemos que la salida es la diferencia de los voltajes de entrada, entonces aplicando la formula obtenemos como resultado un voltaje negativo.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (0 - V_1) \quad V_o = - \frac{R_2}{R_1} V_1 \dots\dots\dots(16)$$

Ahora para la segunda opción tenemos que para V1 es cero y para V2 hay un voltaje de igual manera aplicamos la formula de la ecuación (12) y como resultado se obtiene un voltaje positivo.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - 0) \quad V_o = \frac{R_2}{R_1} V_2 \dots\dots\dots(17)$$

En cambio con la tercera opción tenemos que V1 y V2 va a ser igual a cero, aplicando la fórmula de la ecuación (12) tenemos que a la salida es cero.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (0 - 0) \quad V_o = 0 \dots\dots\dots(18)$$

III.4.3 Amplificación de Corriente

Una vez que se tiene la señal por una solo hilo la ultima etapa a realizar es aplicarle la corriente necesaria al dispositivo termoelectrico Peltier para ello se tiene contemplado utilizar 2 transistores de potencia NPN Y PNP en modo complementario debido a que tenemos voltajes positivo y negativo. Por lo tanto la circuiteria utilizada para esta etapa es la que se observa en la figura 32 [2].

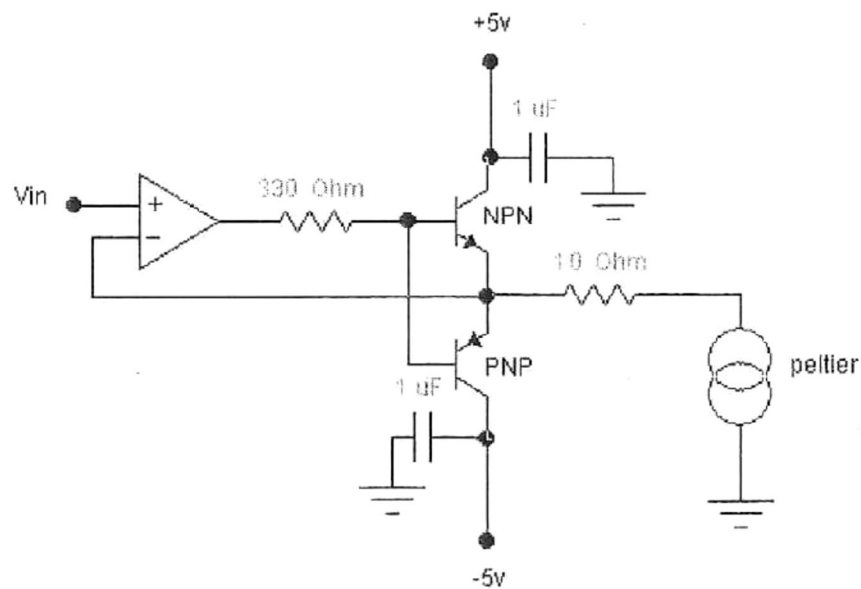


FIGURA 32. Amplificador De Potencia

Como se puede observar la entrada de la etapa de potencia se da por medio de un amplificador operacional que se encuentra en la configuración seguidor emisor donde la salida se conecta a las bases de los 2 transistores y dependiendo del voltaje que se le aplique a la entrada no inversora del amplificador operacional. Por ejemplo, si hay voltaje positivo la corriente va a ser suministrada por el transistor NPN en cambio si el voltaje es negativo la corriente será suministrada por el transistor PNP. Así entonces tendremos la corriente por un solo hilo, ahora esta corriente es dada por los emisores de los transistores donde es conectada por medio de una retroalimentación a la entrada

inversora del amplificador operacional. La desventaja de esta configuración es que en los colectores es necesario polarizar con una fuente dual.

Finalmente, el Peltier es conectado junto a una resistencia de 10Ω en serie como se observa en la figura 32, esta resistencia es conectada debido a que el dispositivo termoeléctrico utilizado tiene una corriente máxima de 0.6A. Por lo tanto, haciendo los cálculos de corriente a utilizar tenemos que de la etapa de potencia se tiene un voltaje de salida de los emisores de $\pm 3.5v$. Por lo tanto, haciendo el cálculo de corriente con la resistencia de 10Ω tenemos que :

$$I=V/R..... (19)$$

$$I= 3.5v / 10\Omega$$

$$I=.35A..... (20)$$

De esta forma la corriente a suministrar por lo transistores será de 0.35A.

III.5 Botones de Control

Para llevar a cabo la selección de control de temperatura se han puesto a disposición 4 botones como se observa en la figura 33 con la finalidad de seleccionar un rango de temperatura deseado los cuales tienen como características:

- 2 botones para determinar la temperatura inferior
- 2 botones seleccionar la temperatura superior

A su vez con estos 2 botones ya sea superior o inferior se fija un rango el que selecciona si el dato de temperatura se va a incrementar o disminuir.

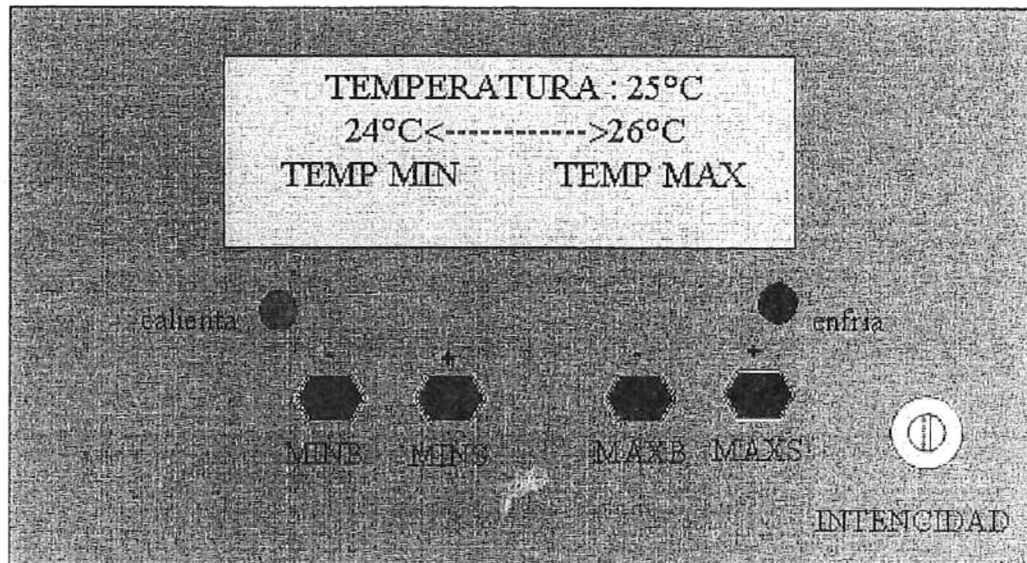


FIGURA 33. Controlador De Temperatura

Estos botones nos van a indicar el rango de temperatura que se desee. por ejemplo, si se quiere que se mantenga una temperatura entre 22 °C y 26 °C.

Para el caso de 22 °C lo que se hace es seleccionar el rango de temperatura con los dos botones de selección de temperatura inferior o menor, de igual manera para seleccionar los 26 °C se selecciona con los dos botones de temperatura superior o mayor.

Una vez que se hace la selección del intervalo de temperatura se indica al microcontrolador si la temperatura dada por nuestro sensor (termistor) esta dentro de este intervalo para que no realice ninguna función. En cambio, si la temperatura de sensor se encuentra por debajo de la temperatura inferior (22°C), entonces el controlador de temperatura actúa y manda una señal a la salida para que empiece a calentar con el fin de mantener la temperatura en el rango especificado, ahora si la temperatura sensada se encuentra por arriba de nuestra temperatura superior (26°C), el controlador de temperatura actúa y manda una señal a la salida para que empiece a enfriar y así mantener el intervalo deseado o especificado por el usuario.

III.6 Grabación de Rangos de Temperatura

Otra característica con la que cuenta el controlador de temperatura es la de poder grabar los intervalos de temperatura que se especifican en la pantalla LCD.

Esto fue posible por la memoria eprom que contiene el microcontrolador PIC16F876, y con la rutina que se encuentra en el apéndice C [5].

El funcionamiento de esta rutina se da primeramente al darle valores iniciales en el programa ensamblador del microcontrolador que son 24 °C para el punto de calentamiento y 26°C para el punto de enfriamiento, una vez que esta en función el controlador de temperatura la forma de grabar cualquier otro intervalo diferente al que esta por omision simplemente basta con presionar cualquiera de lo cuatro botones y automáticamente al estar variando el intervalo de enfriamiento y de calentamiento se estarán grabando. Otro factor importante, es que se queda grabada la última modificación realizada aunque se desconecte y se vuelva a conectar la fuente de alimentación.

III.7 Construcción del Controlador de Temperatura

En esta sección se describe la construcción de los circuitos impresos que constituyen al controlador de temperatura, así como el ensamble final de los mismos dentro del gabinete.

Para la construcción del controlador de temperatura fue necesario realizar 4 tarjetas PCB:

- Acondicionamiento del sensor y etapa de potencia
- Botones de control
- Base para LCD
- Microcontrolador PIC16F876A

III.7.1 Diseño de Tarjetas PCB

Para la construcción de circuitos impresos se utilizo el programa "EAGLE" para la distribución de las pistas, para construirlos sobre una tableta de circuito impreso se

utilizó la técnica de planchado para impresos teniendo como resultado las siguientes pistas e impresos:

➤ *Acondicionamiento del sensor y etapa de potencia*

Esta tarjeta contiene la fuente de corriente, el acoplamiento del sensor, el amplificador diferencial, la etapa de potencia y la conexión del peltier. En la figura 34 se muestran las pistas y en la figura 35 se muestra el circuito impreso con los componentes electrónicos.

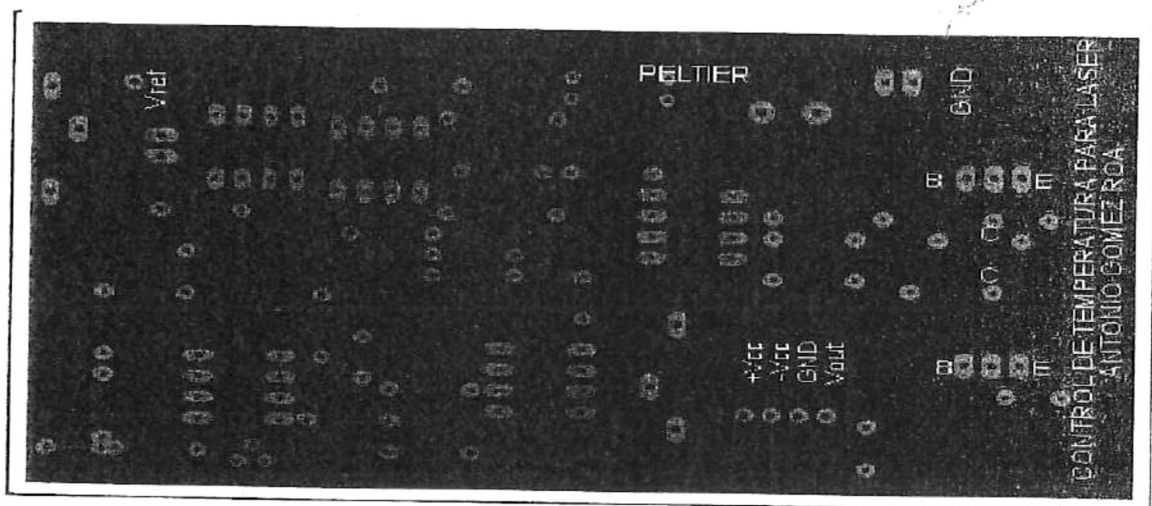


FIGURA 34 Pistas Del Acondicionamiento Del Sensor y Etapa De potencia

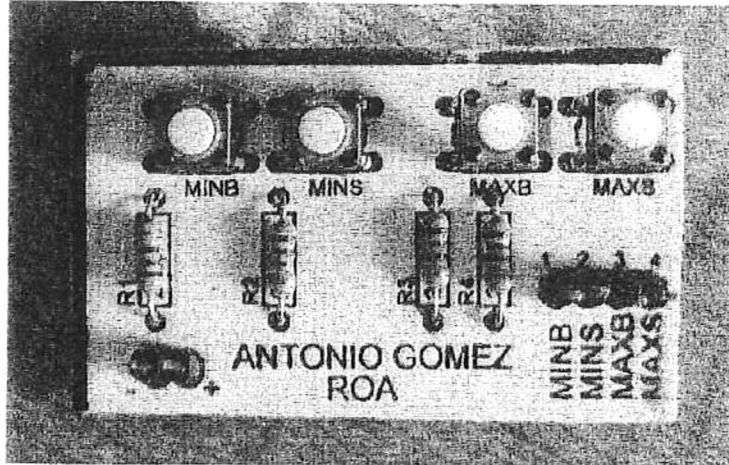


FIGURA 37 Circuito Impreso para Botones De Control

➤ *Base para LCD*

En esta tarjeta se conectan los 8 bit donde se mandan los datos al lcd, los 3bits de control y el control de intensidad. La figura 38 ilustra las pistas y la figura 39 el circuito impreso final.

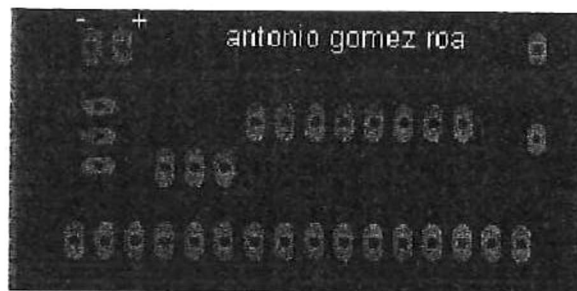


FIGURA 38 pistas Para Base del LCD

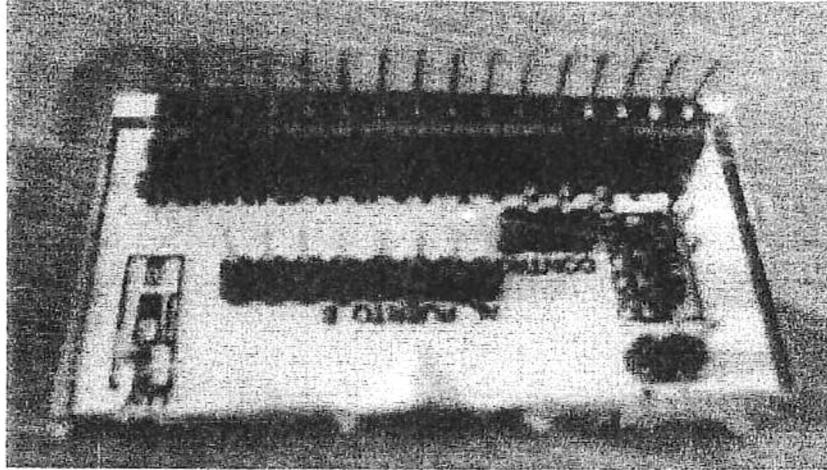


FIGURA 39 Circuito Impreso Para Base del LCD

➤ *Microcontrolador PIC16F876A*

Esta tarjeta es donde se conecta el microcontrolador PIC16F876A, aquí se realizan la mayoría de las funciones y es donde se conectan las demás tarjetas. La figura 40 ilustra la distribución de las pistas y la figura 41 es una fotografía donde se muestra la construcción con el microcontrolador.

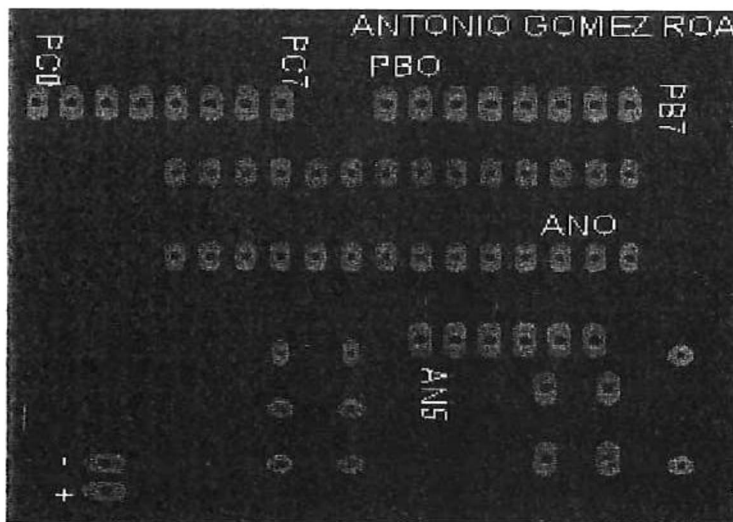


FIGURA 40 Pistas Para Microcontrolador PIC16F876A

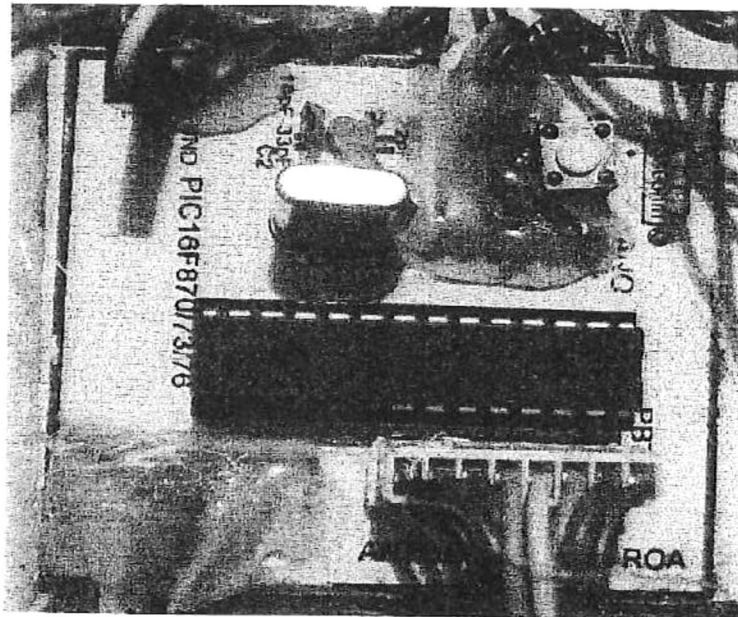


FIGURA 41 Circuito Impreso Para Microcontrolador PIC16F876A

III.7.2 Ensamble Final del Controlador de Temperatura

El ensamble del controlador de temperatura se realizó en un gabinete de plástico con unas dimensiones de 20 x 7.5 x 10 cm.

El controlador de temperatura esta constituido por las tarjetas de circuito impreso anteriores, más un modulo LCD como se muestra en las figuras 42, 43 y 44.

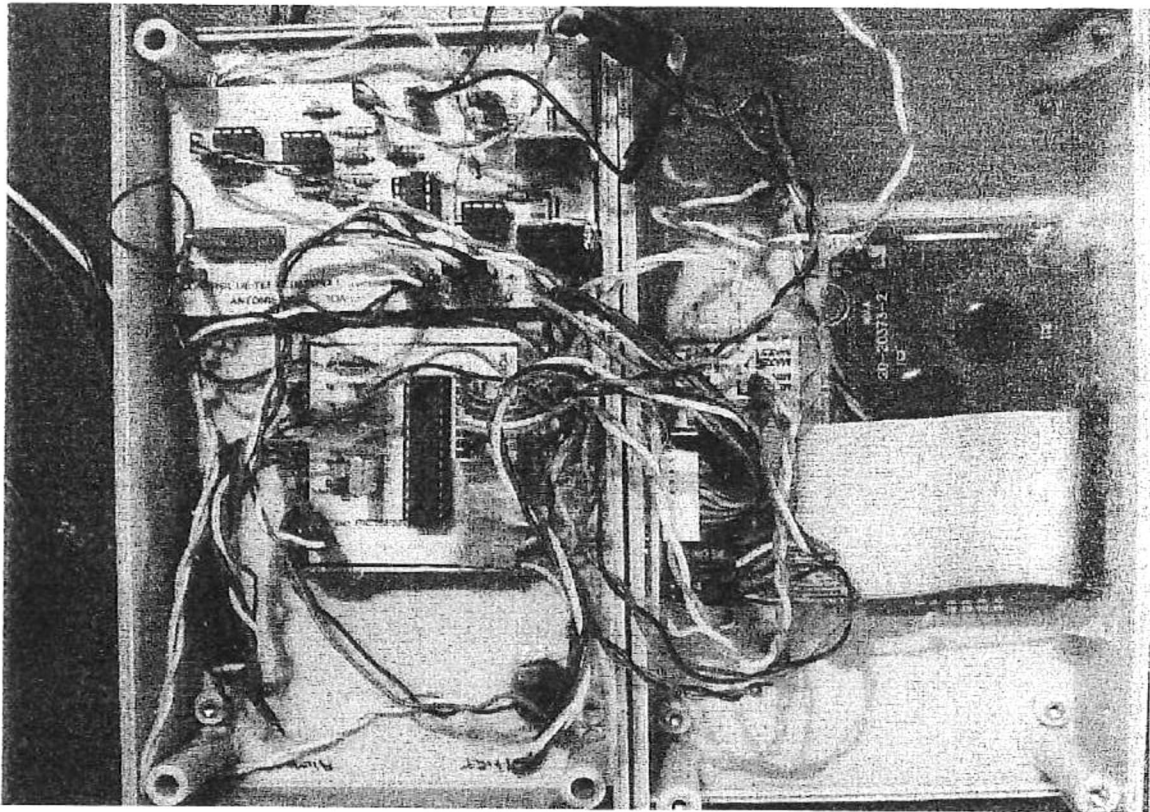


FIGURA 42 Ensamble del controlador dentro del gabinete

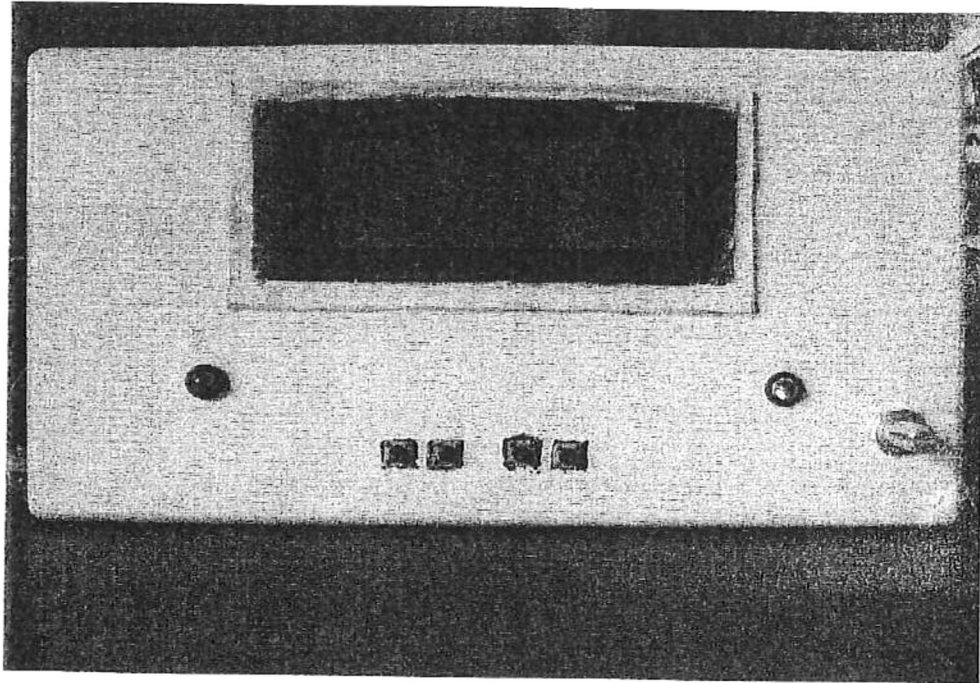


FIGURA 43 Controlador De Temperatura Terminado (frontal)

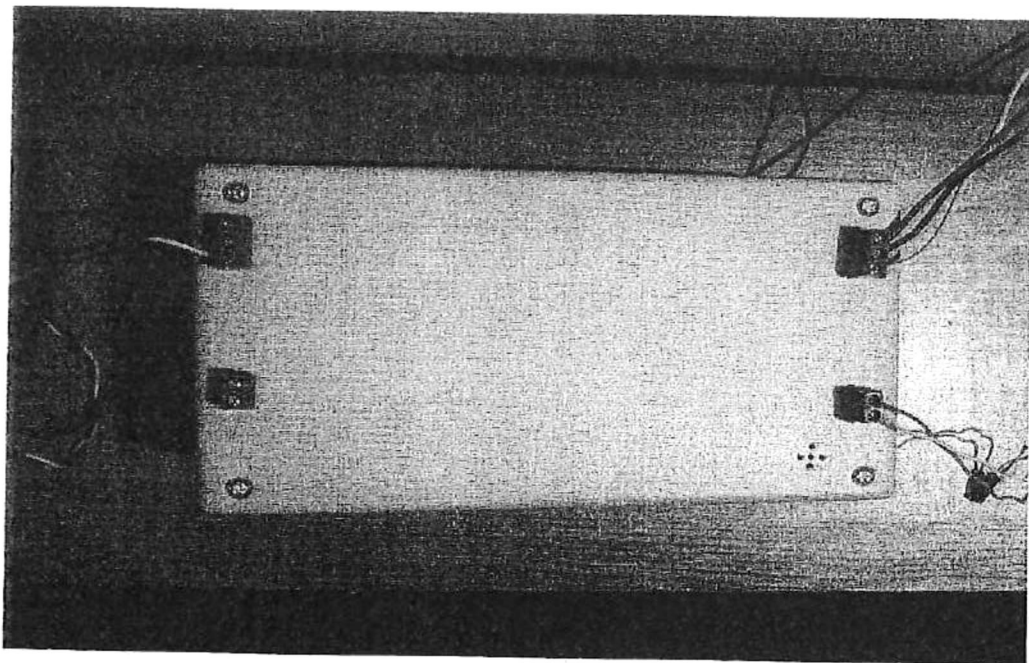


FIGURA 44 Controlador De Temperatura Terminado (trasera)

IV RESULTADOS Y MEDICIONES EXPERIMENTALES

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos utilizando el controlador de temperatura en diversos transistores caracterizados en DC a diferentes temperaturas.

IV.1 Dispositivos de Prueba

Los dispositivos a utilizar son 3 transistores NPN:

- 2N2222
- 2N4124
- 2N3904

Las pruebas a realizar consisten en graficar las curvas del voltaje de saturación del colector - emisor con respecto a la corriente de colector. Para ello se ha optado por utilizar una configuración de fuente de corriente como se muestra en la figura 45 con el objetivo de polarizar al transistor y variar la corriente de colector.

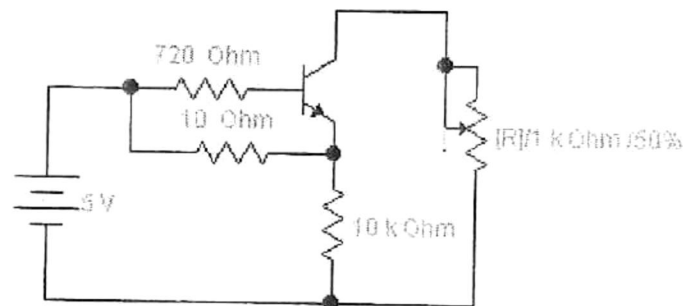


FIGURA 45 Fuente De Corriente para los transistores

IV.2 Pasos a Llevar en las Mediciones Experimentales

Para llevar a cabo las mediciones de los transistores se llevara a cabo los siguientes pasos:

- 1.-Polarizar al transistor bajo prueba con la configuración de fuente de corriente mostrada de la figura 45.
- 2.-Conectar un voltímetro entre el emisor - colector como se muestra en la figura 46.

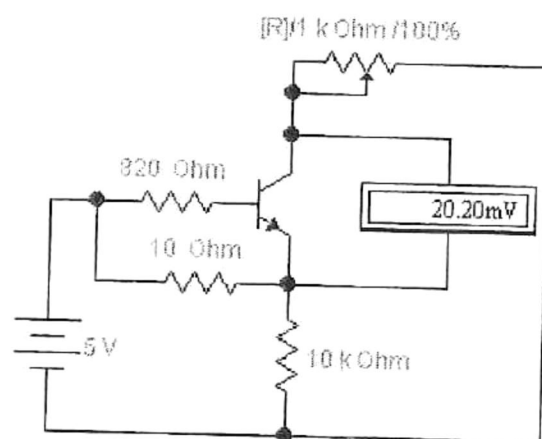


FIGURA 46 Medición De El Voltaje Colector-Emisor y base-emisor.

- 3.- Conectar un amperímetro en el colector como se ilustra en la figura 47 [10].

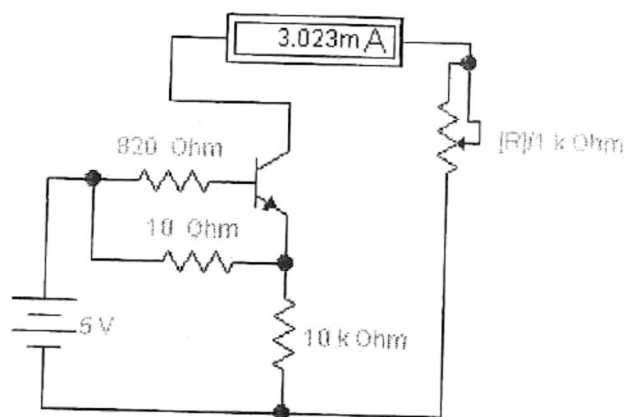


FIGURA 47 Medición De La corriente De Colector

4.-Ajustar al controlador de temperatura al intervalo requerido con se muestra en la figura 48.

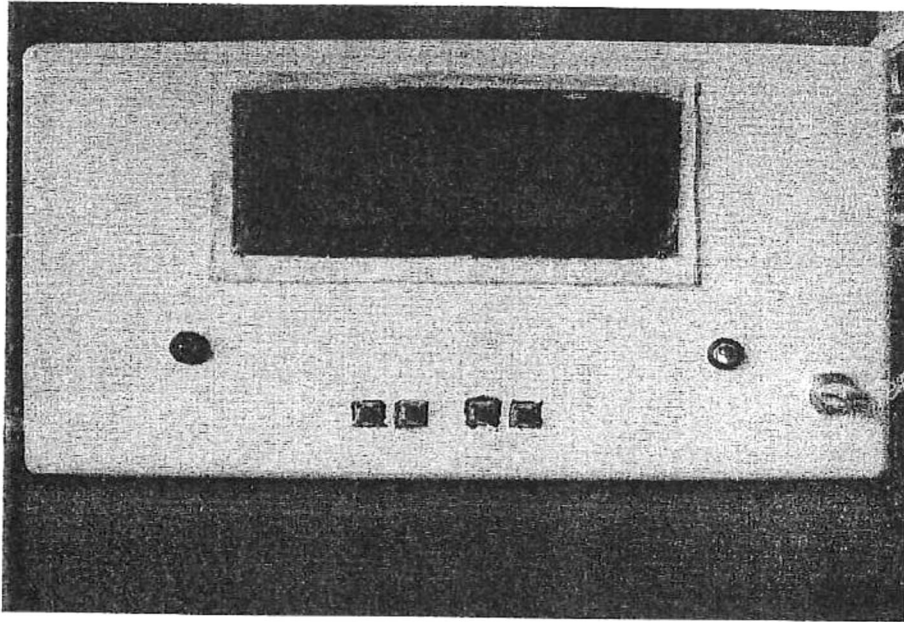


FIGURA 48 Selección Del Intervalo Requerido

5.-Ensamblar el dispositivo de prueba con el sensor de temperatura y el peltier como se observa el la figura 49

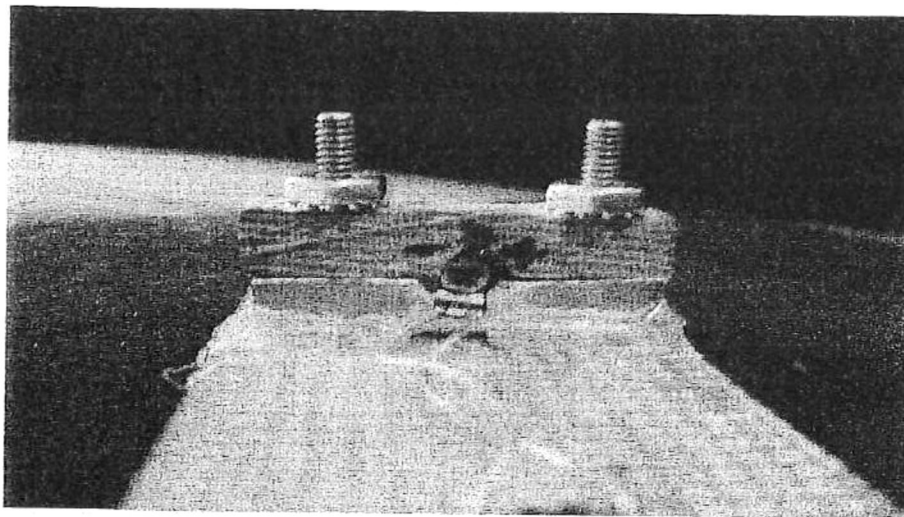


FIGURA 49 Ensamble del sensor, peltier y transistor

6.- tomar lecturas de voltaje en el colector-emisor para diferentes intervalos de corriente de colector

7.- graficar los datos obtenidos del paso 6

8.- comparar los datos graficados del paso 7 con las hojas de especificación del transistor bajo prueba.

IV.3 Mediciones Voltaje-Corriente Para el Transistor 2N2222

Para llevar a cabo las mediciones de este transistor se utilizaran los pasos planteados en la sección anterior.

IV.3.1 Medición del Voltaje Colector-Emisor

Una vez que se polariza el transistor y se conecta el voltímetro y el amperímetro como se observa en la figura 50. se especifica el intervalo de temperatura en el controlador para tomar mediciones a distintas corrientes de colector como se muestra en las tablas 2 y 3. Por último se grafican los datos medidos y se comparan con los datos de especificación del transistor.

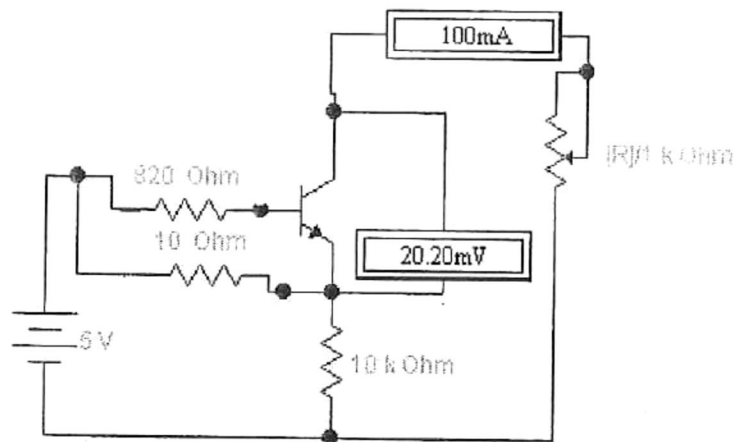


FIGURA 50 Conexión para el transistor 2N2222

$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$
10.1300	24		75.2000	26
11.3900	18		78.9000	27
12.3000	15		84.5000	28
14.5600	14		89.0000	29
15.4000	13		95.8000	31
16.1600	13		100.9000	33
18.2500	13		104.4000	33
20.4400	12		110.8000	35
22.8400	12		115.4000	36
25.3800	13		119.0000	37
27.7600	14		121.3000	38
29.4300	14		124.4000	39
30.0400	14		128.0000	40
33.3100	15		131.0000	40
36.3300	16		135.4000	42
40.7000	17		137.0000	42
46.3000	18		141.3000	43
48.0000	19		143.9000	44
51.1000	19		148.5000	45
53.8000	20		150.7000	46
56.1000	21		154.5000	47
60.8000	22		158.9000	48
65.9000	23		160.7000	48
68.0000	24		164.2000	49

TABLA 2 Voltaje de saturación colector-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N2222

$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$
10.0000	31		87.9000	28
11.1300	20		91.6000	29
13.8000	14		93.8000	30
16.6600	12		99.1000	31
19.4400	12		101.3000	32
21.5500	12		104.0000	32
24.7000	13		108.4000	34
26.9000	13		110.2000	34
28.3200	13		115.5000	35
30.0800	14		118.2000	36
32.8600	14		120.5000	37

36.9000	15		126.2000	38
39.7000	16		133.5000	40
41.6000	17		136.9000	41
44.1000	17		138.6000	41
45.0000	17		140.9000	42
48.7000	18		142.4000	42
52.1000	19		143.9000	43
56.7000	20		145.3000	43
58.9000	21		148.7000	44
63.7000	22		150.0000	44
68.5000	24		153.2000	45
72.4000	24		156.7000	46
78.6000	26		159.7000	47
84.9000	28		162.7000	47

TABLA 3 Voltaje de saturación colector-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N2222

Graficando los datos obtenidos tenemos como resultado la grafica mostrada en la figura 51, la figura 52 representa el voltaje base emisor contra corriente del colector de la hoja de datos del fabricante.

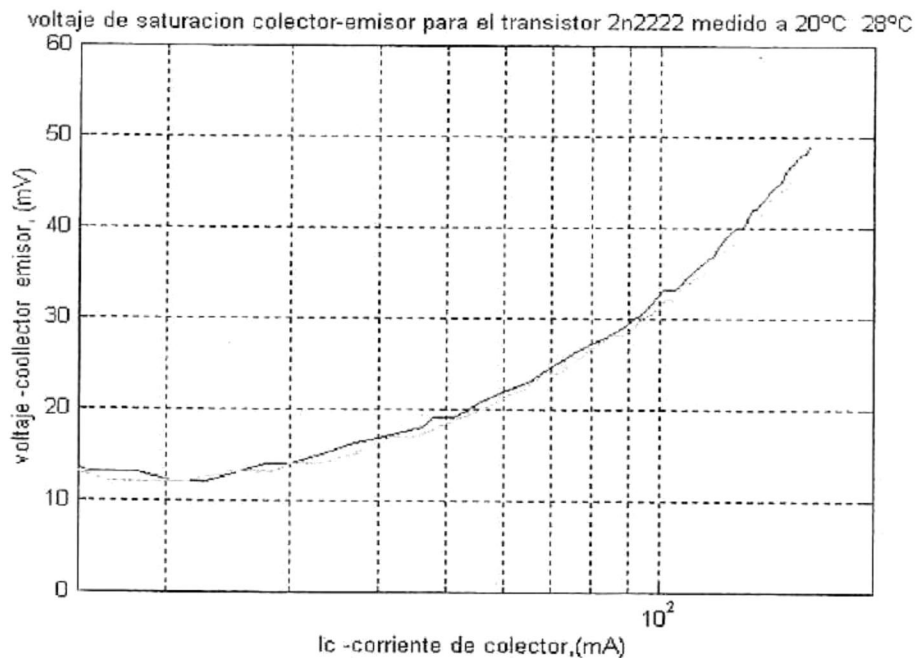


FIGURA 51 Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20 °C y 28 °C Para El Transistor 2N2222

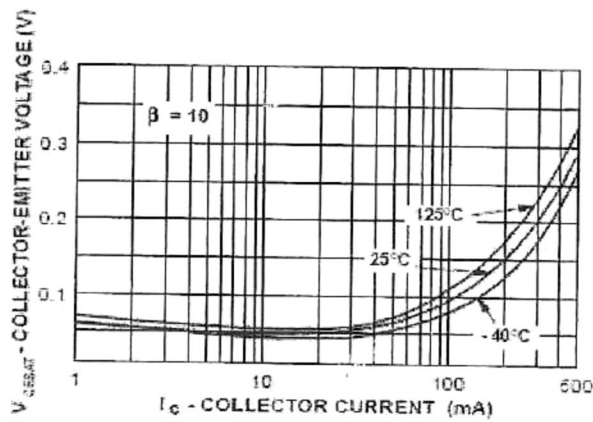


FIGURA 52 Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Del Transistor 2N2222

IV.3.2 Medición del Voltaje Base-Emisor

Para realizar las mediciones del voltaje de saturación se toma en cuenta el circuito mostrado en la figura 53. Las mediciones obtenidas del circuito son las mostradas en las tablas 8 y 9.

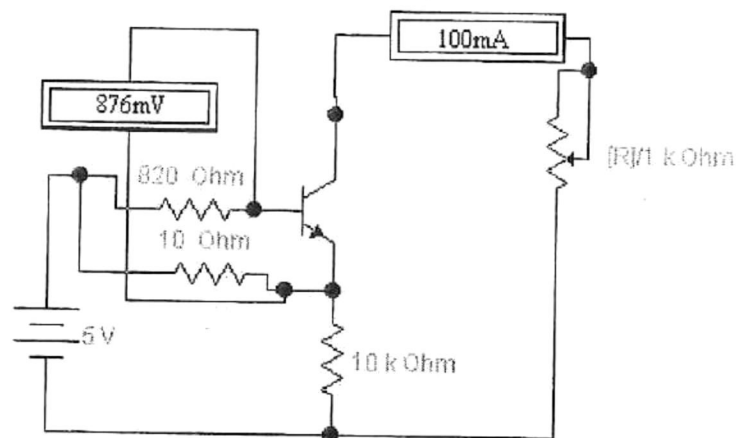


FIGURA 53 Conexión Base-Emisor para el transistor 2N2222

$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$
10.5000	728		88.2000	903
12.7500	762		91.4000	905
14.7200	780		93.7000	907
16.7100	792		97.6000	909
18.4800	803		100.5000	911
19.2900	806		103.4000	913
21.1000	813		106.1000	915
23.8000	822		109.1000	917
26.0100	828		112.5000	919
28.6400	834		118.8000	922
32.3700	842		121.3000	924
35.5300	848		123.1000	925
41.7000	858		126.8000	927
44.1000	860		128.2000	928
45.8000	863		130.4000	929
48.4000	866		133.3000	931
51.9000	870		136.3000	933
56.3000	876		139.4000	934
59.2000	878		141.7000	935
62.2000	881		145.4000	938
65.0000	884		147.8000	939
68.4000	887		149.1000	940
72.1000	890		151.9000	941
74.9000	892		155.2000	943
77.9000	895		157.8000	944
82.9000	899		159.1000	945
84.5000	900		160.5000	946

TABLA 4 Voltaje de saturación base-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N2222

$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$
10.6200	712		71.4000	874
11.9500	734		75.8000	878
12.5500	741		78.2000	879
13.8400	754		83.8000	884
14.2100	758		85.8000	885
15.5500	767		89.5000	888
17.3000	778		100.3000	895
19.4100	788		103.7000	898
20.3300	792		106.3000	899
21.8500	797		110.0000	902
23.2000	802		115.8000	905
25.1800	808		120.6000	908
27.9200	815		123.8000	910
29.3700	819		128.3000	913
31.5000	823		132.1000	915
33.1800	826		134.4000	918
36.0100	831		139.6000	918
38.8700	836		142.1000	920
40.9000	839		143.8000	921
42.9000	842		147.8000	923
45.6000	846		151.9000	925
48.0000	849		154.7000	926
50.4000	852		158.0000	928
53.3000	855		162.4000	930
59.6000	862		165.2000	931
64.5000	867		167.6000	932
68.2000	871			

TABLA 5 Voltaje de saturación base-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N2222

Graficando los datos obtenidos tenemos como resultado la siguiente grafica mostrada en la figura 54, la figura 55 representa el voltaje base-emisor contra corriente del colector de la hoja de datos del fabricante.

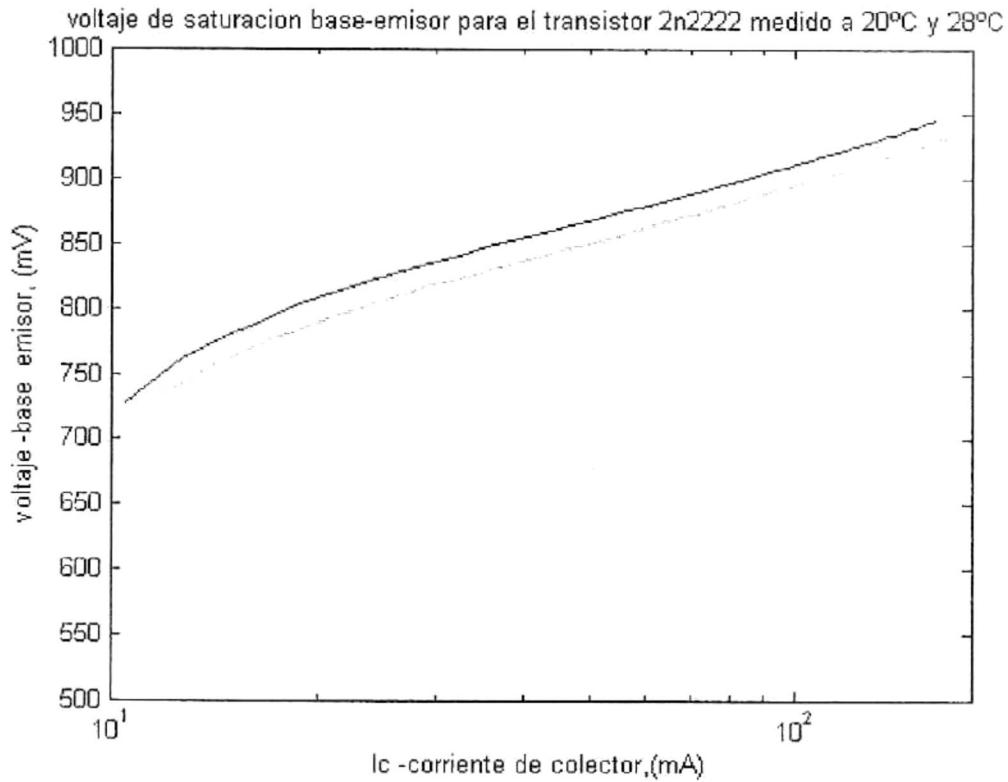


FIGURA 54 Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20°C y 28°C Para El Transistor 2N2222

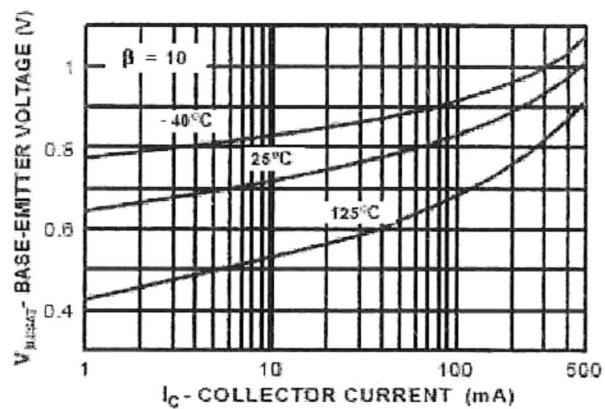


FIGURA 55 Grafica De Voltaje De Saturación base-Emisor Del Transistor 2N2222

IV.4 Mediciones Para el Transistor 2N3904

Para llevar a cabo las mediciones de este transistor se utilizaran los pasos planteados en la sección anteriormente.

IV.4.1 Mediciones del Voltaje Colector-Emisor

Tomando en cuenta los pasos 1, 2 y 3 (ver figura 50), el ensamblando el transistor 2N3904 (ver figura 49) obtenemos que para diferentes corrientes del colector, hay un voltaje colector-emisor dados en las tablas 4 y 5.

$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$
10.0000	43		77.5000	60
11.3800	38		81.2000	62
12.3000	33		85.1000	64
13.2000	31		88.0000	65
14.0000	30		92.6000	68
16.8200	29		100.2000	72
18.6900	29		102.8000	73
19.6600	29		107.7000	76
21.9100	30		113.4000	79
24.4000	31		116.1000	80
26.4200	32		119.2000	82
28.8600	33		123.4000	84
31.8000	35		126.7000	86
33.8000	36		130.9000	88
34.4700	40		134.9000	90
39.4000	42		138.2000	92
41.7000	42		142.1000	94
43.0000	44		144.9000	95
48.9000	46		149.0000	97
51.9000	47		154.5000	100
53.9000	48		159.5000	103
55.3000	49		163.4000	105
59.6000	50		166.3000	106
61.7000	51		169.6000	108
64.9000	53		171.5000	109
69.1000	55		172.1000	109

TABLA 6 Voltaje de saturación colector-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N3904

$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$
10.0000	47		70.0000	55
11.4300	37		72.5000	56
12.4900	33		78.5000	59
13.5600	31		82.4000	61
14.3900	30		87.5000	64
15.3800	29		90.0000	65
16.4400	29		94.1000	67
17.2800	29		100.0000	70
18.6100	29		103.5000	72
20.7300	29		105.1000	73
21.7000	30		111.5000	76
22.6800	30		117.3000	79
24.6500	31		121.7000	82
26.4600	31		126.7000	84
28.2500	32		132.3000	87
30.6000	34		136.1000	89
33.0300	35		138.3000	90
35.0700	36		143.4000	93
39.8800	38		150.0000	96
45.3000	41		157.0000	100
49.7000	44		161.0000	102
52.9000	45		166.4000	104
55.0000	47		170.0000	107
60.0000	50		171.7000	107
64.1000	51			

TABLA 7 Voltaje de saturación colector-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N3904

Una vez que se obtiene la corriente y el voltaje el siguiente paso es graficar los datos como se ilustra en la figura 56 para compararlos con los del transistor 2N3904 como se observa en las figura 57.

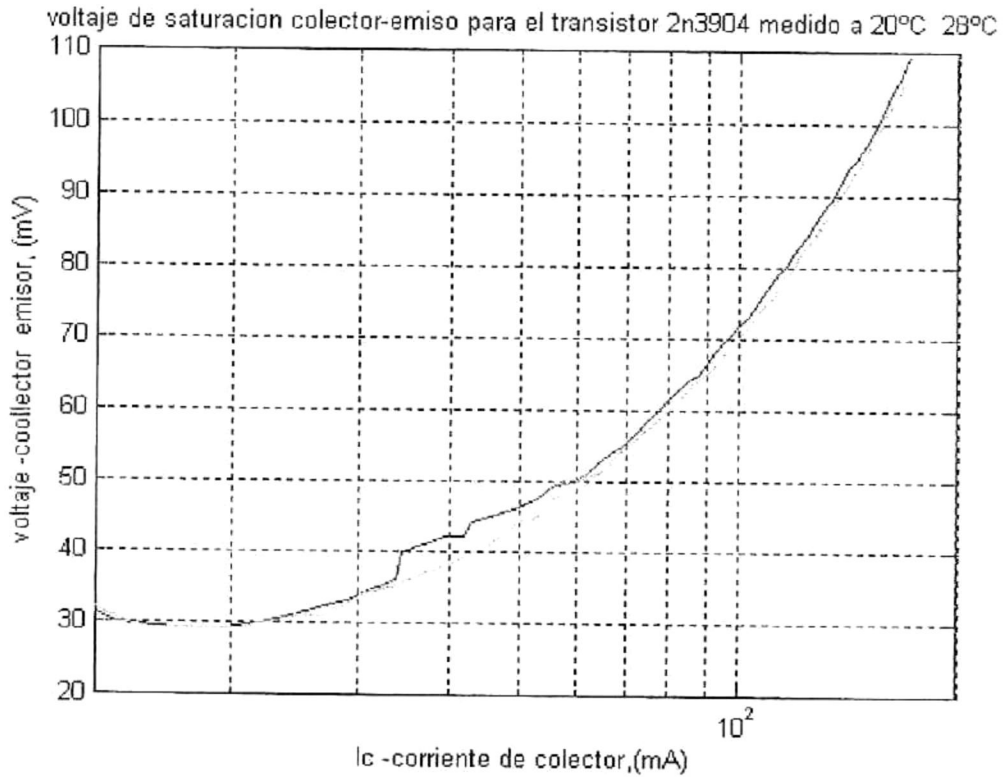


FIGURA 56 Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20 °C y 28 °C Para El Transistor 2N3904

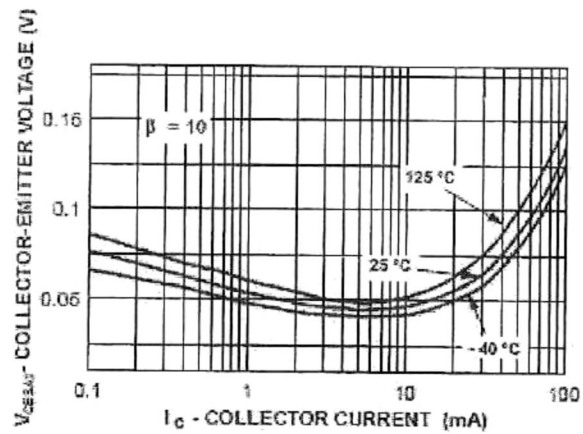


FIGURA 57 Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Del Transistor 2N3904

IV.4.2 Medición del Voltaje Base-Emisor

Para realizar las mediciones del voltaje de saturación se toma en cuenta el circuito mostrado en la figura 53.

Las mediciones obtenidas del circuito son las mostradas en las tablas 10 y 11.

Ic(mA)	V b-e(mV)		Ic(mA)	V b-e(mV)
3.5700	280		69.1000	871
4.5100	356		74.3000	875
5.6900	451		87.7000	885
6.6100	523		94.0000	889
7.5600	594		97.8000	892
8.6800	657		100.4000	893
9.8100	697		104.4000	896
10.4900	713		108.5000	898
11.8700	737		114.3000	901
13.1000	751		119.8000	904
14.6000	765		122.4000	908
17.8500	784		127.3000	908
20.2400	795		131.3000	910
23.8100	807		133.6000	912
26.3400	814		137.3000	913
29.4300	820		141.3000	915
33.7500	829		143.1000	916
40.1000	839		147.5000	918
44.4000	845		148.9000	919
47.7000	849		152.9000	921
50.4000	853		156.6000	923
55.8000	858		158.0000	923
59.7000	862		160.6000	925
64.7000	867			

TABLA 8 Voltaje de saturación base-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N3904

$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$
3.5700	281		62.2000	876
4.5500	359		65.9000	879
5.6100	444		70.7000	882
6.5400	518		73.1000	884
7.5300	593		78.2000	888
8.5700	657		81.7000	891
9.5100	698		85.6000	893
10.4500	722		88.3000	895
11.6200	743		94.1000	899
12.6500	757		98.6000	902
13.5600	766		103.6000	904
14.3900	773		107.7000	907
15.8700	784		112.1000	910
18.8300	800		118.4000	914
22.0000	812		127.7000	918
24.5500	820		130.8000	920
27.8200	828		134.5000	921
30.0000	833		140.4000	924
32.3700	837		152.6000	930
37.3300	846		156.1000	931
39.2600	849		159.6000	933
58.6000	873		164.6000	935

TABLA 9 Voltaje de saturación base-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N3904

Graficando los datos obtenidos tenemos como resultado la siguiente grafica mostrada en la figura 58, la figura 59 representa el voltaje base-emisor contra corriente del colector de la hoja de datos del fabricante.

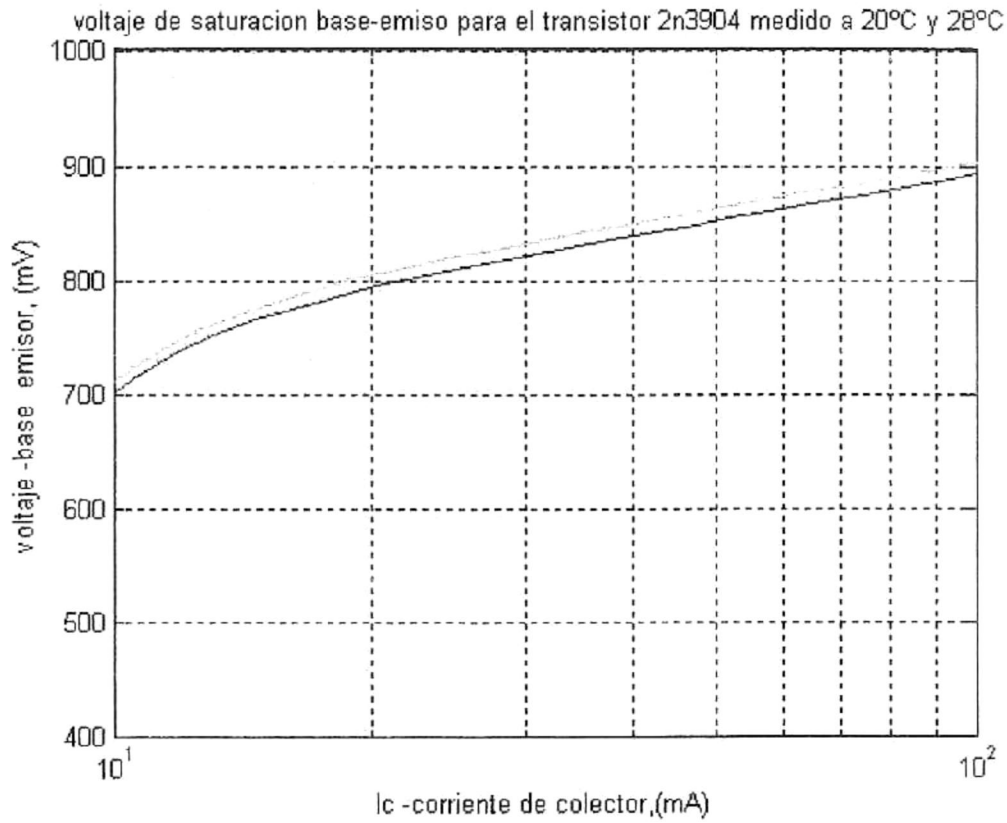


FIGURA 58 Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20°C y 28°C Para El Transistor 2N3904

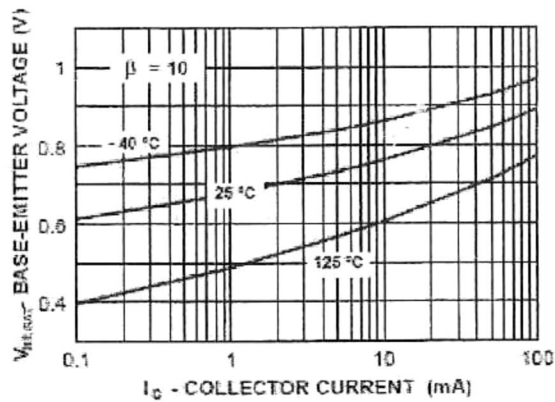


FIGURA 59 Grafica De Voltaje De Saturación base-Emisor Del Transistor 2N3904

IV.5 Mediciones Para El Transistor 2N4124

Para llevar a cabo las mediciones de este transistor se utilizaran los pasos planteados en la sección anterior.

IV.5.1 Mediciones del Voltaje Colector-Emisor

Haciendo uso de los pasos descritos en la sección IV.2 obtenemos los siguientes resultados como se muestra en las tablas 6 y 7.

$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$
10.1200	142		77.2000	47
10.2200	61		81.3000	49
13.7600	43		90.7000	53
14.9000	37		94.7000	55
16.7600	33		96.5000	56
17.6800	31		100.2000	58
18.1000	31		103.3000	59
19.3000	30		106.3000	60
20.3000	29		113.2000	63
21.8300	28		118.9000	66
22.9100	28		121.7000	67
23.9000	28		125.5000	69
26.7000	28		129.5000	71
30.4200	29		133.6000	72
33.1400	30		136.9000	74
37.3300	31		140.8000	76
40.4000	32		144.7000	78
44.8000	34		148.2000	79
47.3000	35		151.1000	81
49.5000	35		154.3000	82
53.2000	37		158.9000	84
59.2000	39		161.1000	85
62.2000	41		164.0000	87
67.2000	43		167.8000	88
72.2000	45			

TABLA 10 Voltaje de saturación colector-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N4124

$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{c-e}(\text{mV})$
10.5600	139		96.2000	54
12.3200	69		100.9000	56
14.3300	43		105.1000	57
16.4500	34		105.4000	60
18.3100	31		108.8000	60
20.2400	29		113.8000	64
22.8100	29		118.2000	66
25.0700	28		122.8000	68
28.5900	29		125.3000	69
34.1700	30		129.8000	71
39.1400	31		131.6000	72
41.2000	32		133.6000	72
46.8000	34		139.7000	75
51.1000	36		145.3000	77
56.4000	38		146.5000	79
62.0000	40		149.6000	80
63.8000	41		152.7000	82
67.9000	41		154.8000	82
73.6000	43		156.5000	83
75.2000	46		158.9000	84
80.6000	47		160.8000	85
85.0000	49		162.4000	86
89.6000	52		164.0000	87
92.1000	53		167.8000	88

TABLA 11 Voltaje de saturación colector-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N4124

Graficando los datos obtenidos tenemos como resultado la siguiente grafica mostrada en la figura 60 y la figura 61 representa el voltaje base emisor contra corriente de colector de la hoja de datos del fabricante.

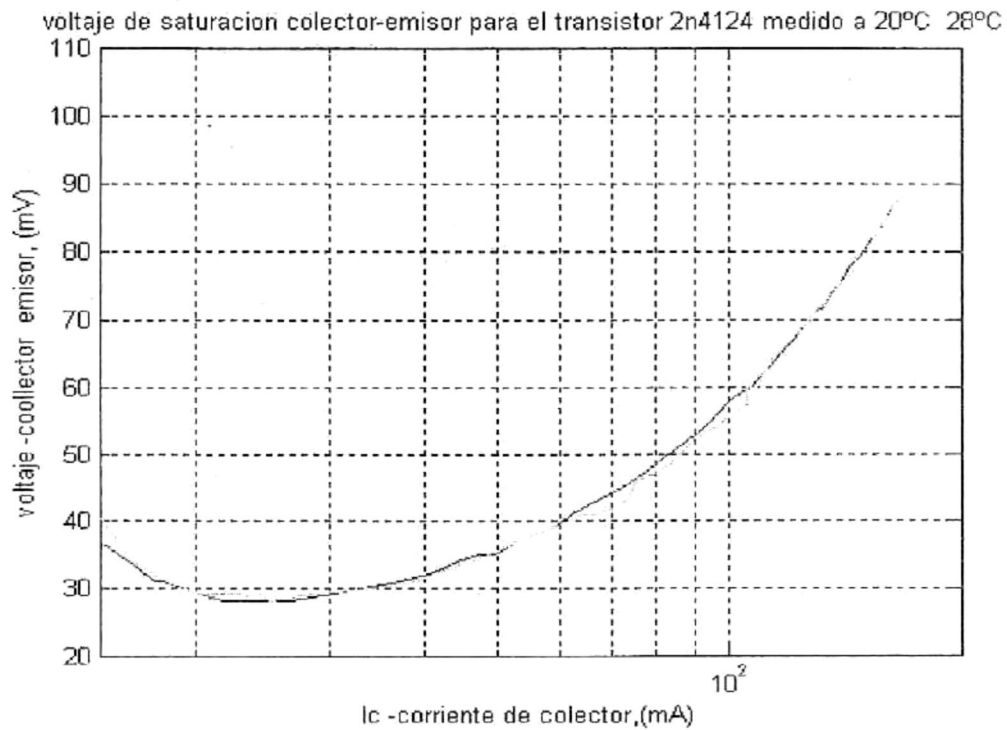


FIGURA 60 Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20 °C y 28 °C Para El Transistor 2N4124

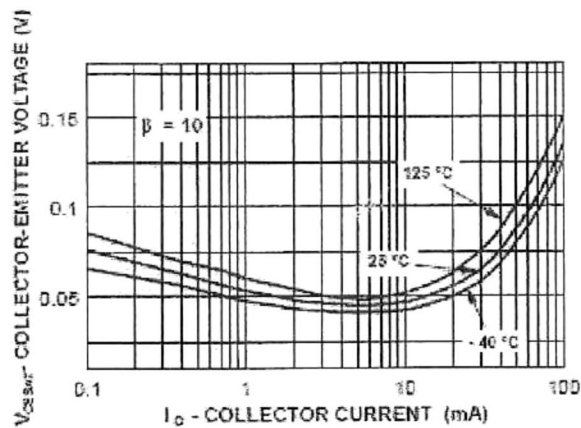


FIGURA 61 Grafica De Voltaje De Saturación Colector-Emisor Del Transistor 2N4124

IV.4.2 Medición del Voltaje Base-Emisor

Para realizar las mediciones del voltaje de saturación se toma en cuenta el circuito mostrado en la figura 53.

Las mediciones obtenidas del circuito son las mostradas en las tablas 12 y 13.

Ic(mA)	V b-e(mV)		Ic(mA)	V b-e(mV)
10.0200	586		74.5000	878
11.2200	654		78.4000	880
12.4900	705		81.8000	882
13.4400	727		87.3000	886
14.2600	740		90.9000	889
15.5300	756		94.8000	891
17.4800	772		100.0000	895
19.2700	784		105.5000	898
20.7600	791		109.4000	900
23.1900	801		113.2000	902
24.2200	805		117.3000	904
25.8800	810		121.8000	907
28.2000	817		124.8000	908
31.2300	824		127.1000	909
36.1800	834		131.7000	912
39.1000	839		134.9000	913
42.9000	845		138.8000	915
46.3000	849		142.1000	916
50.0000	854		147.9000	919
54.8000	860		150.5000	920
57.3000	862		154.1000	921
63.0000	867		160.0000	924
68.0000	872		163.9000	925
71.6000	875		165.5000	926

TABLA 12 Voltaje de saturación base-emisor medido a 20 °C para el transistor 2N4124

$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$		$I_c(\text{mA})$	$V_{b-e}(\text{mV})$
10.0000	590		80.2000	870
11.5100	668		86.5000	875
12.9900	717		96.4000	881
14.5000	734		97.3000	882
17.5000	762		100.7000	883
20.0300	776		105.1000	886
24.6400	799		110.6000	889
27.5100	803		119.6000	894
29.7200	809		125.7000	897
32.4400	819		127.2000	898
36.9000	823		131.5000	900
40.8000	830		136.4000	903
43.1000	833		140.1000	905
45.0000	836		145.7000	907
49.3000	841		148.8000	908
56.0000	849		151.1000	909
59.4000	853		155.9000	911
65.4000	858		158.8000	913
67.1000	860		160.7000	913
70.5000	863		164.3000	915
75.0000	866		165.2000	915
77.1000	868			

TABLA 13 Voltaje de saturación base-emisor medido a 28 °C para el transistor 2N4124

Graficando los datos obtenidos tenemos como resultado la siguiente grafica mostrada en la figura 62, la figura 63 representa el voltaje base-emisor contra corriente del colector de la hoja de datos del fabricante.

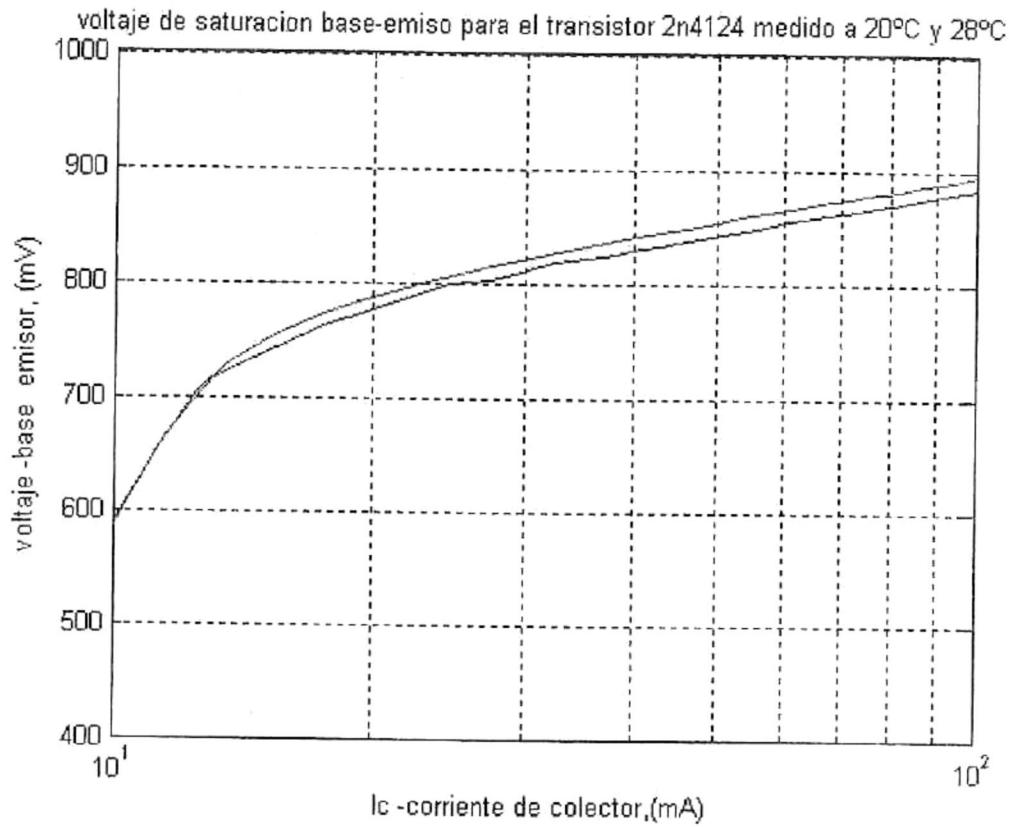


FIGURA 62 Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Medido A 2 Temperaturas 20°C y 28°C Para El Transistor 2N4124

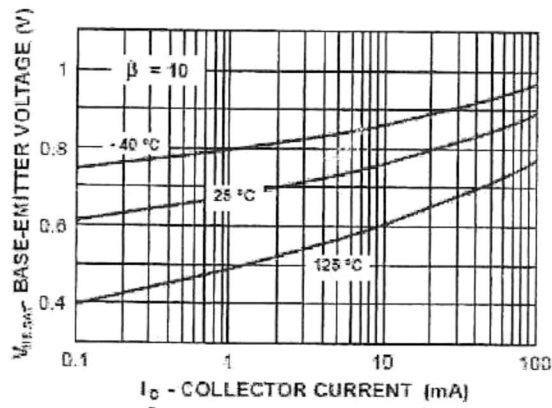


FIGURA 63 Grafica De Voltaje De Saturación Base-Emisor Del Transistor 2N4124

CONCLUSIONES Y APORTACIONES

V.1 Conclusiones

En este proyecto se presenta el diseño y la construcción de un controlador de temperatura y sus características. El sistema requirió de un control eficaz del sensor de temperatura (termistor), debido a su alta no linealidad empleando un método matemático conocido como mínimos cuadrados. El control de temperatura se llevo a cabo por un microcontrolador y se desplegó el resultado en una pantalla LCD, mostrando la temperatura actual y los intervalos de control.

El diseño del controlador de temperatura se diseño para un buen desempeño de diodos láser utilizados en los sistemas de comunicaciones ópticas. Sin embargo, debido a la falta de dispositivos láser se hicieron las pruebas del sistema midiendo dispositivos transistores con el con encapsulado similar a los de los diodos láser,

El controlador fue probado con 3 transistores NPN observando la influencia de la temperatura en el desempeño de la operación de los transistores voltaje colector – emisor o base – emisor para diferentes corrientes de colector en dos puntos de temperatura diferentes y se caracterizaron los transistores en corriente directa (DC): se compararon con los de las hojas de especificación del transistor a prueba, dando como resultado cambios de corriente y voltaje en los puntos de temperatura seleccionados.

Los resultados de las mediciones hechas en los transistores muestran buenos resultados con respecto a las hojas de datos representadas por el fabricante.

Este sistema esta funcionando adecuadamente y puede ser empleado para la investigación y/o desarrollo tecnológico en las comunicaciones ópticas o alguna otra area donde sea conveniente regular la temperatura de pequeños objetos. Asimismo, se puede mejorar el prototipo construido haciendo una mejor aproximación de la curva del termistor NTC (empleando la ec. De Steinhart-Hart) agregando una acción de control PID en lugar de usar una acción de control proporcional, introducir un teclado en lugar de los botones para que el usuario establezca los intervalos de control de temperatura.

Bibliografía

- [1] www.teleline.terra.es/personal/fremiro
www.ilxlightwave.com
www.microchip.com
www.optrex.com
www.thermistor.com/ntctherms.cfm
[/www.betatherm.com](http://www.betatherm.com)
[/www.melcor.com](http://www.melcor.com)
- [2] John Essick, 1999, "Advanced LabVIEW Labs", prentice hall, ISBN 013833949x
- [3] Gene E. tobey, 1985, "Amplificadores Operacionales Diseño y Aplicaciones", Primera Edición, Editorial Diana, ISBN 968-13-0091-2.
- [4] Robert Boylestad, Luís Nashelsky, 1997, "Electrónica: Teoría de Circuitos", Sexta edición, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., ISBN 968-880-805-9.
- [5] Manual Del Microcontrolador PIC16F873A
- [6] Lawrence A. Johnson [2003], "*Controlling Temperatures of Diode Lasers Thermoelectrically*", ILX Lightwave Corporation, notas De Aplicacion #1, Paginas 1-8.
- [7] Lawrence A. Johnson [2003], "*Selecting and Using Thermistors for Temperature Control*", ILX Lightwave Corporation, notas De Aplicacion #2, paginas 1-5.
- [8] Angulo usategui jose Ma.[2000], "microcontroladores <PIC> diseño practico de aplicaciones ", segunda edicion, McGRAW-HILL, ISBN 84-8412858-3
- [9] Manual Del Modulo LCD OPTREX DMC-20481NY-LY-AGE
- [10] Hernández M. Jorge[1998], "curso practico de electrónica moderna ", CEKIT S.A., volumen 19, Pág. 228, ISBN 958657197-6

APENDICE A

PROGRAMAS DE MATLAB\

CURVA DE VOLTAJE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR.

```
a=[ 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56
57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80];
b= [2.21 2.25 2.16 2.08 2.03 1.96 1.82 1.77 1.65 1.58 1.48 1.41 1.37 1.321 1.280
1.220 1.148 1.112 1.053 1.020 1.005 .982 .962 .883 .836 .782 .745 .716 .699
.652 .628 .611 .594 .577 .544 .517 .487 .481 .472 .466 .427 .435 .417 .386 .375
.400 .371 .344 .324 .318 .305 .285 .280 .273 .261 .254 .243 .233 .235 .231 .226
.231 .238 .215 .191 .180 .173 .168 .161 .157 .153 .150 .147 .144 .139 .132 .120];
Plot(a, b)
xlabel('TEMPERATURA EN GRADOS CELCIUS');
ylabel('VOLTAJE EN VOLTS');
title('CURVA DEL TERMISTOR ');
```

COEFICIENTES DE UN POLINOMIO AJUSTADO POR MÍNIMOS CUADRADOS

```
x=[ 80 79 78 77 76 75 74 73 72 71 70 69 68 67 66 65 64 63 62 61 60 59 58 57
56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31
30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4];
y=[ 2.21 2.25 2.16 2.08 2.03 1.96 1.82 1.77 1.65 1.58 1.48 1.41 1.37 1.321
1.280 1.220 1.148 1.112 1.053 1.020 1.005 0.982 0.962 0.883 0.836 0.782 0.745
0.716 0.699 0.652 0.628 0.611 0.594 0.577 0.544 0.517 0.487 0.481 0.472 0.466
0.427 0.435 0.417 0.386 0.375 0.400 0.371 0.344 0.324 0.318 0.305 0.285 0.280
0.273 0.261 0.254 0.243 0.233 0.235 0.231 0.226 0.231 0.238 0.215 0.191 0.180
0.173 0.168 0.161 0.157 0.153 0.150 0.147 0.144 0.139 0.132 0.120];
figure(1);
plot(x,y,'x');
[p,s]=polyfit(x,y,1)
z=polyval(p,x);
plot(x,z,'r');
```

APENDICE B

RUTINAS PARA EL MICROCONTROLADOR

RUTINA DEL CONVERTIDOR ANALOGO A DIGITAL

```
.*****
;
;***** RUTINAS PARA EL CONVERTIDOR ANALOGO/DIGITAL *****
;*****
;
MOVLW    00H
BANCO_1
MOVLW    b'00001111'
MOVWF    ADCON1          ; se establece como variación análoga de vref- a
                        vref+      voltios de Vss a VDD y que AN0 será entrad analógica
CLRF     PORTB
CLRF     PORTC
BANCO_0
MOVLW    b'00000001'
MOVWF    ADCON0          ; se establece A/D como encendido
CONVERSOR
CALL     RETARDO          ; llamado a subrutina de retardo
BSF     ADCON0,2          ; inicia conversión y se detiene cuando esta completa
MOMENTO          ; etiqueta para retroalimentar la conversión
BTFSC   ADCON0,2          ; detenemos la conversión cuando esta en 0 el BIT 2
GOTO    MOMENTO          ; saltamos a momento
MOVF    ADRESH,W          ;Resultado deL ADC High Byte porque estamos en
el      banco 0 trabajando
MOVWF   PORTB            ; sacamos los datos por el puerto b
BANCO_1          ; nos cambiamos de banco ahora es 1 esta en
función
MOVF    ADRESL,W          ;Resultado deL ADC Low Byte
BANCO_0          ; trabajando con el banco 0
```

MOVWF PORTC ; sacamos por el puerto C los datos de ADC Low
Byte

GOTO CONVERSION ; regresamos a conversor

RUTINA PARA LA LINEALIZACION POR MINIMOS CUADRADOS

***** LINEALIZACIÓN POR MINIMOS CUADRADOS *****

MOVF REGI ; aquí aguardo el resultado de la conversión A/D
parte baja

MOVWF AARGB1 ; cargo el resultado de la conversión a registro
AARGB1

MOVF REGH, W ; aquí aguardo el resultado de la conversión A/D
parte alta

MOVWF AARGB0 ; cargo el resultado de la conversión a registro
AARGB0

MOVLW 00H

MOVWF BARGB0 ; cargo cero BARGB0

MOVLW 31H ; 49 resolución factor de escalamiento

MOVWF BARGB1

CALL FXM1616U ; rutina de multiplicación

; Dividendo

MOVF AARGB2, W ; se dan los el resultado de la multiplicación parte
baja

MOVWF AARGB0

```

MOVWF    AARGB3, W ; se dan los el resultado de la multiplicación parte alta
MOVWF    AARGB1
                ; Divisor
MOVLW    D'250'
MOVWF    BARGB1
MOVLW    0X00
MOVWF    BARGB0
CALL     FXD1616U ; rutina de división
                ; resultado
MOVWF    AARGB1, W
MOVWF    RSLTL
MOVWF    AARGB0, W
MOVWF    RSLTH

```

; Como mi resultado de la pendiente tenia una constante $y=Ma + b$

; Por lo tanto el resultado final para la ecuación que se pone dentro

; Del PIC es de la siguiente forma y despejando (X) tenemos que:

$$; \quad X = \{[(\text{conversión A/D}) (\text{resolución del C(A/D)}) / Y] + b$$

$$; \quad X = [(\text{conversión A/D}) (49)] / 250] + 32$$

```
MOVLW .32
```

```
SUBWF RSLTL, F
```

```
MOVWF RSLTL, 0
```

```
MOVWF buffer ; aquí ya se obtiene la temperatura que se va ha desplegar
en la
```

```
; Pantalla de lcd
```

RUTINA DE VISUALIZACIÓN PARA LA TEMPERATURA ACTUAL

```
movf    RSLTL,0    ;manda el resultado de la operación de la pendiente a W
movwf   buffer     ; el resultado de la pendiente mándalo al registro buffer
movf    buffer, 0   ;Dato digitalizado del sensor de temperatura -> W
call    DECIMAL    ;Obtenemos UNI, DEC y CEN con el agregado de 30h
para la                                     ; tabla ASCII
```

; las siguiente rutina despliega la temperatura en la primera línea de la pantalla del LCD

```
Movlw   0x8D       ; Coloca el cursor en la posición 0Dh de la pantalla.
call    LCD_REG
movf    cen, 0     ;Coloca en el LCD las centenas
call    LCD_DATOS
movf    dec, 0     ;Coloca las decenas
call    LCD_DATOS
movf    uni, 0     ;Coloca las unidades
call    LCD_DATOS
```

RUTINA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA

```
.*****
;
.*****  CONDICIONES PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA *****
;
.*****
```

; BUFFER: se refiere al dato del sensor digitalizado

; MENOR: se refiere al punto inferior o menor de temperatura especificado por el usuario

; MAYOR: se refiere al punto de temperatura mayor o superior especificado por el usuario

; CONDICIONES

; Si BUFFER < MENOR = ACTIVAR EL BIT 6 DEL PUERTO C
; Si BUFFER > MENOR = DESACTIVAR EL BIT 6 DEL PUERTO C

; Si BUFFER < MAYOR = DESACTIVAR EL BIT 7 DEL PUERTO C
; Si BUFFER > MAYOR = ACTIVAR EL BIT 7 DEL PUERTO C

Call LECTURA ; se utiliza para leer los valores que tiene grabados en la
; eprom

Call VERINF ; Coloca en el LCD la temp. Inferior

Call VERSUP ; Coloca en el LCD la temp. superior

Movf menor, 0 ; Punto de activación -> W

Subwf buffer, 0 ; W = Temp. Actual - (Menor)

Btfss CARRY ; Si dio negativo es porque la temp. Medida es igual o ;
; menor al punto de activación

Bsf CALIENTA ; Si dio negativo (si carry = 0) se activa el bit 6 del ; ;
puerto c

Movf menor, 0 ; Punto de desactivación -> W

Subwf buffer, 0 ; W = Temp. Actual - (Mayor)

Btfsc CARRY ; Si dio negativo es porque aún no alcanzó la temperatura ;
de desactivación

Bcf CALIENTA ; Si dio positivo (si carry = 1) se desactiva el BIT 6 del ; ; ;
; puerto c

Movf mayor, 0 ; Punto de desactivación -> W

Subwf buffer, 0 ; W = Temp. Actual - (Menor)

```

Btfss CARRY      ; Si dio negativo es porque la temp. Medida es igual o ; ;
;               ; mayor al punto de desactivación
Bcf ENFRIA       ; Si dio negativo (si carry = 0) se desactiva el bit 7
;               ; del puerto c
Movf mayor, 0    ; Punto de activación -> W
Subwf buffer, 0  ; W = Temp. Actual - (Mayor)
Btfsc CARRY      ; Si dio negativo es porque aún no alcanzó la temp. ; ;de ; ;
;               ; activación
Bsf ENFRIA       ; Si dio positivo (si carry = 1) se activa el BIT 7 del
puerto c

```

```

.*****
,

```

APENDICE C

Equipo Utilizado

- 10 Resistencias De $10k\Omega$
- 4 Resistencias De $2.2k\Omega$
- 4 Resistencias De 330Ω
- 1 Resistencias De $22k\Omega$
- 2 Potenciómetros De $100k\Omega$
- 2 Capacitores $100\mu f$
- 2 led azul y rojo
- 1 Buzzer
- 5 Switch N.A.
- 1 Transistor NPN TIP41
- 1 Transistor PNP TIP42
- 1 Transistor PNP BC557C
- 5 Amplificadores Operacionales LM358AP
- 1 Microcontrolador PIC16F876
- 1 Pantalla LCD OPTREX LCD 20481 NY-LY-AGE de 4x 20
- 1 Fuente De Voltaje Dual +/- 5v 1A
- 1 Termistor De $10K@25^{\circ}C$
- 1 Peltier FC0.6-12-06L

MATERIAL UTILIZADO PARA PROGRAMAR EL MICROCONTROLADOR

- 1 Computadora Con Windows xp
- 1 Software Mplab 7.0
- 1 Software icprog.exe
- 1 Programador Serial Para pic's

APENDICE D

GRABACION DE DATOS EN MEMORIA EEPROM

```
;*****  
;*****Rutina encargada de incrementar menor y mayor*****  
;***** Así como grabar los incrementos y decrementos *****  
;*****
```

SUBEMIN

```
incf  menor, 1      ;Suma 1 a menor y lo guardo en menor  
call  VERINF        ;muestro el cambio en el LCD  
btfss MINS          ;Espera que suelte el pulsador  
goto  $ -1  
goto  SAVEMIN       ;Una vez que se suelta la tecla guarda  
                        ; el parámetro en la memoria eeprom
```

BAJAMIN

```
decf  menor, 1      ;Resta 1 a al registro menor y guardalo en menor  
call  VERINF        ;Actualiza la información en el LCD  
btfss MINB          ;Espera que suelte el pulsador  
goto  $ -1
```

SAVEMIN

```
bsf   STATUS,RP1    ;Paso a la página 2  
clrf  eeaddr         ;Direcciono al primer byte de la memoria  
EEPROM  
bcf   STATUS,RP1    ;pasa al banco 0  
bcf   STATUS,RP1
```

```

movf menor, 0           ;guardo el valor de menor en w
bsf STATUS,RP1         ;pasa al banco 2
movwf eedata          ;paso el valor de menor a la memoria
EEPROM
call EESAVE            ;Ejecuta la rutina de grabación
bcf STATUS,RP1        ;Pasa a página 0
goto TIC              ;Va a hacer el TIC de teclado

```

SUBEMAX

```

incf mayor, 1         ;Suma 1 al registro mayor y guarda el dato
                        en mayor
call VERSUP           ;Actualiza la información en el LCD
btfss MAXS           ;Espera que suelte el pulsador
goto $ -1
goto SAVEMAX         ;Una vez que suelta la tecla va a guardar el
; ; ;                parámetro en la eeprom

```

BAJAMAX

```

decf mayor, 1         ;Resta 1 al registro mayor y guarda el dato
en ; ;                mayor
call VERSUP           ;Actualiza la información en el LCD
btfss MAXB           ;Espera que suelte el pulsador
goto $ -1

```

SAVEMAX

```

bsf STATUS,RP1       ;Pasa a página 2
movlw d'1'

```

```

movwf eeaddr ;Direcciona el 2do. byte de la EEPROM
bcf STATUS,RP0
bcf STATUS,RP1 ;pasa al banco 0
movf mayor, 0
bsf STATUS,RP1 ;pasa al banco 2
movwf eedata ;Temp. Activación -> EEPROM
call EESAVE ;Ejecuta la rutina de grabación
bcf STATUS,RP1 ;Pasa a página 0
goto TIC ;Va a hacer el TIC de teclado

```

EESAVE

```

bsf STATUS,RP0 ;Pasa a página 3
bsf EEWREN ;Habilito la escritura en la EEPROM
movlw 0x55 ;se realiza una rutina de Secuencia de ;
;; ; seguridad; para asegurarnos de
movwf eeaddr ; para asegurarnos de la grabacion
movlw 0xAA
movwf eeaddr
bsf EEWRITE ;Inicio la grabación
bcf EEWREN ;Deshabilito la escritura
btfsc EEWRITE ;se Espera que termine de grabar
goto $ -1
bcf STATUS,RP0 ;Pasa a página 2
return

```

APENDICE E

MODULO LCD

En el siguiente apéndice se muestra una breve descripción del funcionamiento del módulo LCD a través de 8 líneas de datos de carácter ASCII con ciertos códigos de control que permiten realizar la visualización de caracteres. Asimismo, mediante estas líneas de datos el módulo devuelve información de su estado interno.

Con otras tres señales adicionales se controla el flujo de información entre el módulo LCD y del equipo el microcontrolador a utilizar.

La descripción de señales empleadas por el módulo LCD así como el número de patilla es la siguiente.

Pin n°	Símbolo	Conexión	Descripción
1	V_{SS}	V_{SS}	Patilla de tierra de alimentación
2	V_{DD}	V_{DD}	Patilla de alimentación de +5V
3	V_0	V_0	Patilla de contraste del cristal líquido. Normalmente se conecta a un potenciómetro a través del cual se aplica una tensión variable entre 0 y +5V que permite regular el contraste del cristal líquido.
4	RS	RA0	Selección del registro de control/registro de datos: RS=0 Selección del registro de control RS=1 Selección del registro de datos
5	R/W	RA1	Señal de lectura/escritura R/W=0 El Módulo LCD es escrito R/W=1 El Módulo LCD es leído
6	E	RA2	Señal de activación del módulo LCD: E=0 Módulo desconectado E=1 Módulo conectado
7-14	D0-D7	RB0-RB7	Bus de datos bi-direccional. A través de estas líneas se realiza la transferencia de información entre el módulo LCD y el sistema informático que lo gestiona

La interfase entre el módulo LCD y el sistema del microcontrolador se realiza de acuerdo con los pasos siguiente:

- **Puertos RBO-RB7:** se conectan las líneas de datos DO-D7 del módulo lcd, a través del puerto B del microcontrolador, se envían códigos ASCII o de control al módulo o se recibe por parte de este el estado interno del

mismo. El Puerto B habrá que programarlo como salida cuando se vayan a enviar códigos ASCII o de control y como entrada cuando se desee conocer el estado interno del módulo.

- **Puerto RC5:** Se conecta con la señal de control **R/S**. Sacando un nivel lógico "0" por esta línea se selecciona el registro de control del módulo. Sacando un nivel lógico " 1 "se selecciona el registro de datos. ***Esta línea debe programarse como salida.***

- **Puerto RC4:** Se conecta con la señal **R/W**. poniendo un nivel lógico "0" por esta señal de control el módulo se encontrara en modo escritura con la información presente en ese momento en el Puerto B que deberá actuar como salida. mandando un nivel lógico " 1 " se lee el estado interno del módulo LCD. Dicho estado se recibe a través del Puerto B que deberá estar programado como entrada. ***La línea debe programarse como salida.***

- **Puerto RC3:** Se conecta con la señal **E(habilitar)**. Cuando se aplica un nivel "1" el módulo queda habilitado y es posible por tanto la transferencia de información entre el puerto B del microcontrolador y las líneas de datos DO-D7 del modulo LCD. Aplicando un "0" el módulo queda desconectado y sus líneas de datos DO-D7 estarán en alta impedancia. ***se debe programarse como salida.***

A continuación se presentan los comandos o instrucciones que permiten configurar las diferentes opciones de trabajo del módulo LCD y conseguir con ello distintos efectos de visualización. El juego de instrucciones consiste en

diferentes códigos que se introducen a través del ducto de datos del módulo LCD conectado al puerto B de microcontrolador.

➤ **CLEAR DISPLAY**

Borra el módulo LCD y coloca el cursor en la primera posición (dirección 0).
Pone el bit **I/D** a "1" por omisión.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tiempo de ejecución: 1.64 mS

➤ **HOME**

Coloca el cursor en la posición de inicio (dirección 0) y hace que el display LCD comience a desplazarse desde la posición original. El contenido de la memoria RAM de datos de visualización (DD RAM) permanecen invariables. La dirección de la memoria RAM de datos para la visualización (DD RAM) es puesta a 0.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	X

Tiempo de ejecución: 1.64 mS

➤ **ENTRY MODE SET**

Establece la dirección de movimiento del cursor y especifica si la visualización se va desplazando a la siguiente posición de la pantalla o no. Estas operaciones se

ejecutan durante la lectura o escritura de la DD RAM o CG RAM. Para visualizar normalmente poner el bit **S** a " 0 ".

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	D	S

Tiempo de ejecución:40 μS

➤ **DISPLAY ON/OFF CONTROL**

Activa o desactiva poniendo en ON/OFF tanto al display (D) como al cursor (C) y se establece si este último debe o no parpadear (B).

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

Tiempo de ejecución:40 μS

➤ **CURSOR OR DISPLAY SHIFT**

Mueve el cursor y desplaza el display LCD sin cambiar el contenido de la memoria de datos de visualización DD RAM.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	X	X

Tiempo de ejecución:40 μS

➤ **FUNCTION SET**

Establece el tamaño de interfase con el bus de datos (DL), número de líneas del display (N) y tipo de carácter (F).

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	X	X

Tiempo de ejecución: 40 μS

➤ **SET THE CGRAM ADDRESS**

El módulo LCD además de tener definidos todo el conjunto de caracteres ASCII, permite al usuario definir 4 u 8 bit. La composición de estos caracteres se va guardando en una memoria llamada CG RAM con capacidad para 64 bytes. Cada carácter gráfico definido por el usuario se compone de 16 u 6 bytes que se almacenan en sucesivas posiciones de la CG RAM, mediante esta instrucción se establece la dirección de la memoria CG RAM a partir de la cual se irán almacenando los bytes que definen un carácter gráfico. Ejecutado este comando todos los datos que se escriban o se lean posteriormente se hacen desde esta memoria CG RAM.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	Dirección de la CG RAM					

Tiempo de ejecución: 40 μS

➤ **SET THE DD RAM ADDRESS**

Los caracteres o datos que se van visualizando, se van almacenando previamente en una memoria llamada DD RAM para de aquí pasar a la pantalla. Mediante esta instrucción se establece la dirección de memoria DD RAM a partir de la cual se irán almacenando los datos a visualizar. Ejecutado este comando,

todos los datos que se escriban o lean posteriormente los hacen desde esta memoria DD RAM. Las direcciones de la 80h a la 8Fh corresponden con los 16 caracteres del primer renglón y de la C0h a la CFh con los 16 caracteres del segundo renglón.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	Dirección de la RAM						

Tiempo de ejecución: 40 μ s

➤ **READ BUSY FLAG & ADDRESS**

Cuando el módulo LCD está ejecutando cualquiera de estas instrucciones, tarda un cierto tiempo de ejecución en el que no se le debe mandar ninguna otra instrucción. Para ello se dispone de un bandera llamado BUSY (BF) que indica que se está ejecutando una instrucción previa. Esta instrucción de lectura informa del estado de dicha bandera además de proporcionar el valor del contador de direcciones de la CG RAM o de la DD RAM según la última que se haya empleado.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	Dirección de la CG RAM o de la DDRAM						

Tiempo de ejecución: 1 μ s

➤ **WRITE DATA TO CG OR DDRAM**

Mediante este comando se escribe en la memoria DD RAM los datos que se quieren presentar en pantalla y que serán los diferentes códigos ASCII de los caracteres a visualizar. Igualmente se escribe en la memoria CG RAM los diferentes bytes que permiten confeccionar caracteres gráficos a gusto del usuario. El escribir en uno u otro tipo de memoria depende de si se ha empleado

previamente la instrucción de direccionamiento DD RAM o la de direccionamiento CG RAM.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	Código ASCII o byte del carácter gráfico							

Tiempo de ejecución: 40 μs

➤ **READ DATA FRW CG OR DD RAM**

Mediante este comando se lee de la memoria DD RAM los datos que haya almacenados y que serán los códigos ASCII de los caracteres visualizados. Igualmente se lee de la memoria CG RAM los diferentes bytes con los que se ha confeccionado un determinado carácter gráfico. El leer de uno u otro tipo de memoria depende de si se ha empleado previamente la instrucción de direccionamiento de la DD RAM o la de direccionamiento CG RAM.

Código:

RA0	RA1	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	Código ASCII o byte del carácter gráfico							

Tiempo de ejecución: 40 μs

ABREVIATURAS

A continuación las abreviaturas empleadas en los códigos anteriores y su significado:

Abreviatura	Descripción
S=1	Desplaza la visualización cada vez que se escribe un dato.
S=0	Modo normal
I/D=1	Incremento del cursor
I/D=0	Decremento del cursor
S/C=1	Desplaza el display
S/C=0	Mueve el cursor
R/L=1	Desplazamiento a la derecha
R/L=0	Desplazamiento a la izquierda
BF=1	Módulo ocupado
BF=0	Módulo disponible
DL=1	Bus de datos de 8 bits
DL=0	Bus de datos de 4 bits
N=1	LCD de dos líneas
N=0	LCD de una línea
F=1	Carácter de 5 x 10 puntos
F=0	Carácter de 5 x 7 puntos
B=1	Parpadeo de cursor ON
C=1	Cursor ON
D=1	Display ON
X=1	Interlineado

En la siguiente tabla se muestran algunas de las posiciones marcadas como CG RAM (n) que corresponden a uno de los 8 posibles caracteres gráficos definidos por el usuario. un ejemplo para la utilización de esta tabla es:

la posición de memoria 01111110 según la tabla corresponde a una flecha

la posición de memoria 00100001 corresponde a un signo de admiración

Higher Order Bits Lower Order Bits 4 bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A
xxxx0001	(2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx0010	(3)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx0011	(4)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx0100	(5)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx0101	(6)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx0110	(7)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx0111	(8)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1000	(1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1001	(2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1010	(3)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1011	(4)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1100	(5)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1101	(6)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1110	(7)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C
xxxx1111	(8)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C

La secuencia de inicio ejecutada es la siguiente:

1. Se ejecuta el comando **CLEAR DISPLAY** borrando la pantalla. La bandera de **BUSY** se mantiene a "1" (ocupado) durante 15 mS hasta que finaliza la inicialización.

2. Se ejecuta el comando **FUNCTION SET**, que establece el interfaz con el ducto de datos. Se elige por defecto el tamaño del ducto de datos a 8 bits (DL=1) y el número de renglones del display del LCD en 1 (N=0).

3. Se ejecuta el comando **DISPLAY ON/OFF CONTROL**, que hace que el display en (D=0) se encuentre en estado de OFF también cursor en OFF (C=0) y sin parpadeo del cursor en (B=0)

.*****REGISTROS PARA INICIALIZAR EL LCD*****

```
START    CALL    LCD_INI           ;Inicia LCD (CFG puertos...)
START_1  MOVLW   b'00000001'       ;Borrar LCD y Home
          CALL    LCD_REG
          MOVLW   b'00000110'
          CALL    LCD_REG
          MOVLW   b'00001100'      ;LCD On, cursor Off,Parpadeo Off
          CALL    LCD_REG
```

RUTINA DE CONTROL UTILIZADA DE UN MODULO LCD

Con el objeto de proporcionar al usuario una idea de cómo es que realizan las diferentes actividades en el módulo LCD. A continuación se describe una pequeña reseña de los comandos utilizados para su funcionamiento.

LCD_E

Genera un pulso por la patilla RA2 (señal E) para activar al módulo LCD. El pulso es de 1mS de duración trabajando a 4 MHz. En caso de frecuencias mayores de trabajo habrá que aumentar este tiempo para no rebasar la duración mínima impuesta por el fabricante del LCD.

```
LCD_E    BSF  LCDE      ;Activa señal E
          NOP
          NOP
          NOP          ;Espera 1uS
          BCF  LCDE      ;Desactiva señal E

          RETURN
```

LCD-BUSY

Chequea el estado de la bandera Busy del LCD y espera a que finalice cualquier instrucción previa antes de retomar.

```
LCD_BUSY BSF  LCDWR      ;Pone el LCD en modo lectura
          BSF  STATUS,RP0 ;Selecciona el Banco 1
          MOVLW 0xFF
          MOVWF TRISB    ;Puerta B actúa de entrada
          BCF  STATUS,RP0 ;Selecciona el Banco 0
          BSF  LCDE      ;Activa el LCD (Señal E)

          NOP

L_BUSY   BTFSC PORTB,7   ;Chequea el BIT BUSY
          GOTO L_BUSY    ;EST a "1" (Ocupado)
          BCF  LCDE      ;Desactiva el LCD (Señal E)
          BSF  STATUS,RP0 ;Selecciona el Banco 1
          CLRF TRISB     ;Puerta B actúa como salida
          BCF  STATUS,RP0 ;Selecciona el Banco 0
          BCF  LCDWR     ;Pone el LCD en modo escritura

          RETURN
```

LCD_REG

Deposita el código de instrucción presente en el registro W del PIC sobre el Puerto B. Espera que el LCD ejecute la última operación y genera el pulso de activación en la señal E.

```
LCD_REG    BCF    LCDRS        ;Desactiva RS (Modo instrucción)
           MOVWF  PORTB       ;Saca el código de instrucción
           CALL   LCD_BUSY     ;Espera a que se libere el LCD
           GOTO   LCD_E        ;Genera pulso en señal E
```

LCD_DATOS

Deposita el código ASCII del carácter a visualizar presente en el registro W, sobre el puerto B. Espera a que el LCD ejecute la última operación y genera el pulso de activación en la señal E.

```
LCD_DATOS  BCF    LCDRS        ;Desactiva RS (Modo instrucción)
           MOVWF  PORTB       ;Valor ASCII a sacar por PORTB
           CALL   LCD_BUSY     ;Espera a que se libere el LCD
           BSF    LCDRS        ;Activa RS (Modo dato)
           GOTO   LCD_E        ;Genera pulso en señal E
```

LCD_INI

Realiza la inicialización del módulo LCD según los tiempos marcados por el fabricante (15 mS). En este ejemplo se inicia con un internase de 8 bits del ducto de datos, 2 líneas de visualización y caracteres de 5 x 7 puntos.

```
LCD_INI    MOVLW  b'00111000'
           CALL   LCD_REG     ; Código de instrucción
           CALL   DELAY_5MS   ;Temporiza 5 mS.
           MOVLW  b'00111000'
           CALL   LCD_REG     ;Código de instrucción
           CALL   DELAY_5MS   ;Temporiza 5 mS.
           MOVLW  b'00111000'
           CALL   LCD_REG     ; Código de instrucción
```

RETURN

