



# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

Reporte final de residencia profesional

Nombre del proyecto:

## **SINTONIZADOR DEL LÁSER SEMICONDUCTOR APLICADO A AMPLIFICADORES ÓPTICOS.**

Realizado por:

**Bitkar Abimael Gómez Alegría**

**Darinel Pineda Ruiz**

Periodo:

**Agosto - Diciembre 2008**

**Dr. Jorge Luís camas Anzuelo.    Ing. Álvaro Hernández Sol.**

Asesor:

Revisor:

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a 14 enero 2009.

## RESUMEN.

El presente trabajo describe todo el proceso que involucra el diseño y la implementación física de una fuente de corriente que automáticamente controla la temperatura de un Láser Semiconductor Aplicado a Amplificadores Ópticos. El control Automático de la temperatura en el láser permite sintonizar su longitud de onda.

Se muestra el marco teórico necesario para la comprensión del funcionamiento de un Láser Semiconductor, así como el hardware con el que está implementada.

La parte del hardware del proyecto usa dispositivos de tecnología reciente y algunos dispositivos comunes, que ya han prevalecido en el mercado.

Se utiliza un microcontrolador PIC fabricado por Microchip, debido a la diversidad de los modelos que ofrece el fabricante. Existen varios PICs que se adaptan a los requerimientos del Sintonizador del Láser Semiconductor, tales como múltiples entradas analógicas, más capacidad de oscilación, mayor capacidad de memoria.

Éste proyecto tiene como finalidad de que sea utilizable no solo en un modelo de un láser semiconductor, sino que el prototipo debe de acoplarse a los parámetros del láser semiconductor que se utilice. El control de estos parámetros, permitirá tener el control de la emisión de longitud de onda del láser.

## CONTENIDO.

	Páginas
<b>CAPÍTULO I.</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b> .....	5
1.1. Planteamiento del Problema. ....	5
1.2. Antecedentes. ....	6
1.3. Justificación. ....	6
1.4. Objetivos. ....	7
1.4.1. Objetivo General. ....	7
1.4.2. Objetivos Específicos. ....	7
1.5. Hipótesis. ....	8
1.6. Delimitaciones y/ alcance del problema. ....	9
<b>CAPÍTULO II.</b>	
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO.</b> .....	11
2.1. Marco Referencial. ....	11
2.2. Marco Conceptual. ....	12
2.2.1. Transistor 2N3055. ....	16
2.2.2. PIC18F452. ....	17
2.2.3. Láser. ....	19
2.2.4. Rejilla de Bragg. ....	22
<b>CAPÍTULO III.</b>	
<b>3. PROCEDIMIENTO.</b> .....	26
3.1. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas. ....	26
3.2. Desarrollo y configuración de la fuente. ....	27
3.3. Lógica del circuito y diagrama completo. ....	34
<b>CAPÍTULO IV.</b>	
<b>4. RESULTADOS.</b> .....	38
4.1. Descripción y resultados. ....	38
Conclusión del Trabajo. ....	43
Recomendaciones del sistema. ....	43
Trabajos futuros. ....	45
Bibliografía. ....	46
<b>ANEXOS</b>	47
Anexo A Imágenes. ....	47
Anexo B Esquema del sistema. ....	49
Anexo C Código del Programa. ....	40
Anexo D Hoja de datos del PIC18F452.....	57

# **CAPITULO I.**

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Hoy en día no existen diseños de circuitos electrónicos que basan su funcionamiento en la sintonización de los láseres, es decir; sólo tienen la capacidad de ser aplicable a un láser en particular, debido a que éstos funcionan en un rango de longitud de onda en función al modelo a utilizar y además de ser relativamente caros. En un Amplificador óptico, en particular el Amplificador de Fibra Óptica Dopada con Erbio, se necesita seleccionar una longitud de onda de ancho espectral pequeño, para eliminar ruido generado por Emisión espontánea internamente. En el diseño de este amplificador se debe de tener una longitud de onda de referencia, y este es establecido por una Rejilla de Bragg. Una rejilla de Bragg es un elemento pasivo que tiene la característica de reflejar luz que coincida con el periodo de la rejilla. Es por ello, que se necesita seleccionar una longitud de onda en el láser semiconductor que coincida con la longitud de onda de reflexión de la rejilla de Bragg. Al coincidir ambas longitudes de onda, la rejilla de Bragg reflejará la señal eliminando las longitudes de onda que no coincida con ella.

## **1.2. ANTECEDENTES.**

Existen controladores de temperatura de muy buena calidad, sin embargo, el costo de este es considerable, el cual incrementaría el costo en el diseño de un Amplificador óptico de fibra [8]. Existen antecedentes de Fuentes de Corriente para un Enfriador los cuales mediante un arreglo de resistencias, transistores y comparadores se regula la corriente para mantener la temperatura deseada en el láser utilizado, el cual disminuye el costo de la fuente.

El láser de diodo en los controladores de la serie LDC200C (Láser Diodo Drivers de 20mA – 4A) proporciona todos los elementos que garanticen un rendimiento excepcional. Hay siete modelos con diferentes gamas de corriente, cada uno configurado para proporcionar un rendimiento óptimo para su aplicación particular. Pero claro cada uno de estos dispositivos tiene sus especificaciones así como una guía de selección de una ficha de descripción de los productos. Como se menciona anteriormente existen otros modelos de los cuales se anexa la matrícula el **LDC240C**, **LDC220C**, **LDC210C**, **LDC202C**, **LDC201CU**, **LDC200CV** [6]. Los cuales tiene su principal diferencia uno del otro en los rangos de corriente que trabajan.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN.**

Este proyecto es derivado de las necesidades observadas en el plano experimental del uso de laseres semiconductores, debido a que dichos experimentos requieren de varios aparatos demasiado costosos (como son el controlador, enfriador, láser SC, rejilla de bragg y fibra óptica), que no están al alcance de un estúdiante. Es por lo que surge la idea de desarrollar un proyecto que realice el trabajo del controlador de láser ya que es el componente más costoso.

El controlador de fabrica no solo tiene la desventaja del precio alto, sino también que trabaja con rango específicos de longitud de onda y en caso de necesitar otra longitud de onda se requiere adquirir otro controlador, en este proyecto se controlan los niveles de corriente y de temperatura con los que

opera el láser ya que son estos los que hacen que mantenga una longitud de onda en el láser. Además por medio de un teclado se puede introducir los valores de las resistencias del rango que hacen que la longitud de onda sea ideal para la máxima transferencia luminosa.

Es por ello que se pretende desarrollar este proyecto que permita a los usuarios poder utilizar con este controlador diferentes láseres y poder seleccionar las longitudes de onda a las que trabajan, para que no se tenga la necesidad de comprar los distintos controladores para diferentes láseres.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1. GENERALES:**

Diseñar y construir el prototipo de una fuente de corriente para la sintonización de la longitud de onda de un láser semiconductor de rango espectral determinado.

### **1.4.2. ESPECÍFICO:**

- Recopilar información sobre los diferentes dispositivos existentes en el mercado capaces de controlar la temperatura para el buen funcionamiento de los láseres.
- Recopilar información sobre los diferentes dispositivos que van a formar parte del proyecto como son: el refrigerador, termistor, sensor de temperatura, láser semiconductor, rejilla de braga, etc.
- Realizar pruebas con los dispositivos antes mencionados para comprender totalmente el funcionamiento para así poderlo acoplar completamente.
- Acoplar, la fuente de corriente a un láser sintonizable.

## 1.5 HIPÓTESIS.

El Sintonizador de un Láser Semiconductor Aplicado a Amplificadores Ópticos tiene como principal funcionamiento el control automático de temperatura del láser, el cual a su vez es aplicado en fibras dopadas con erbio, además de la eliminación de ruidos generados por el amplificador, ya que su ancho espectral es muy pequeño.

El láser de la señal utilizado en el arreglo experimental es un DFB modelo 976M11F-01 de la compañía Mitsubishi electrical company. El uso de este láser, se debe a que puede ser sintonizado en un rango determinado en longitud de onda. El problema es que necesitamos seleccionar una longitud de onda que coincida con la longitud de onda de reflexión de la rejilla de Bragg. Al coincidir ambas longitudes de onda, la rejilla de Bragg reflejará a la señal eliminando las longitudes de onda que no coincida con ella. La longitud de onda de selección del láser es llevado a cabo mediante la variación de temperatura en él. Por lo que el láser es montado en un enfriador que es controlado por corriente que circula a través de él. Este consta de un enfriador por el cual circulará la corriente y de un termistor por el cual se observa la variación de resistencia según el cambio de temperatura que este experimente. Entonces, mediante el cambio de la resistencia se observa el cambio de la temperatura en que se encuentre el láser en ese momento. Pues este funcionamiento antes explicado será simplificado mediante la utilización de un microcontrolador PIC el cual hará mediante la programación adecuada la mayor parte del trabajo, reemplazando a los comparadores y resistencias con la ventaja de que se pueda seleccionar diferentes rangos para ser utilizado en diferentes láseres.



## **1.6 DELIMITACIÓN Y / ALCANCE DEL PROBLEMA.**

Para la solución del problema, se propone utilizar el microcontrolador PIC 18F452 uno de los cuales es factible para poder solventar este proyecto, y de los cuales más adelante se mencionarán algunas de sus principales características, además de la utilización del enfriador mediante el cual mantendrá a temperatura óptima de funcionamiento el láser.

## **CAPITULO II.**

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

### 2.1 MARCO REFERENCIAL.

Para la apertura de este proyecto se contaba con una fuente de corriente para un enfriador de láseres que es lo más cercano a lo que se pretende desarrollar,

El láser de diodo en los controladores de la serie LDC200C proporciona todos los elementos que garanticen un rendimiento excepcional [6]. Hay siete modelos con diferentes gamas de corriente, cada uno configurado para proporcionar un rendimiento óptimo para su aplicación particular [9].

Se puede apreciar algunas de estas fuentes y las cuales tienen diferencia unas de otras principalmente en su variación de corriente, pues varían de 100mA hasta 4 A, estas lo puede ver en la figura 2.1.

- ▶ Laser Currents up to  $\pm 1A$
- ▶ TEC Currents up to  $\pm 4A$  (32W)
- ▶ Extremely Low Noise & High Stability



#### Related Products

##### Laser Diodes



##### Current Controller



##### Power Meters



Figura.2.1. Ejemplo de fuente utilizada para controlar la temperatura en el láser.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL.

Uno de los componentes que formará parte importante de este proyecto es el enfriador el cual, tendrá la función de mantener a temperatura óptima de funcionamiento a los láseres. La forma física de este enfriador se muestra en la figura 2.2 y en la figura 2.3 se muestran las dimensiones del mismo.



Figura 2.2 Montura física del enfriador.

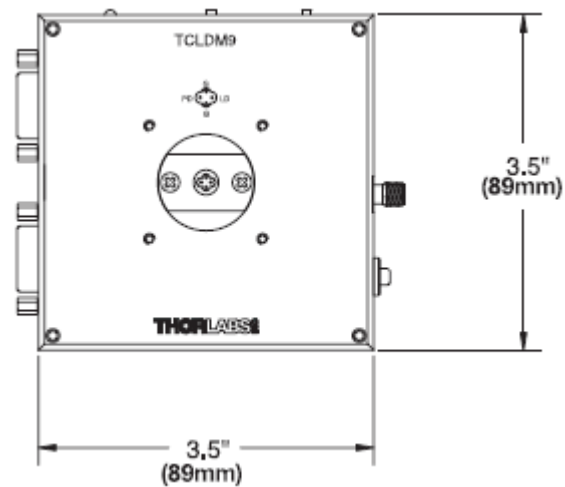


Figura 2.3. Dimensiones del refrigerador.

El montaje se puede adaptar a la polaridad del láser de diodos de seguimiento y de interruptores en miniatura situada en la parte superior. Como se observa en la figura 2.2 y en la 2.3 se muestran todas las entradas para la conexión con la fuente de alimentación, además que consta con led indicador de que el láser a sido habilitado, y un conector remoto interlock situado en la parte lateral del TCLDM9. Además de la facilidad o flexibilidad que tiene para que el láser sea retirado o insertado en el zócalo y para mayor seguridad cuenta con unas roscas que mantiene fijo el láser en el enfriador [10].

También existe el LDM21 es un Miniatura TEC-enfriador con láser de diodo de montaje es de la mitad de tamaño que el TCLDM9 figura 2.4 y 2.5. Con un enfriador eléctrico térmico y un termistor de 10 k $\Omega$ , este montaje mantiene estabilizado longitudes de onda del láser, precisamente por la elevación de la temperatura a 0.002 ° C. El pequeño tamaño de la LDM21 hace de este montaje óptico ideal para los casos en los que el espacio es limitado.

### **Miniature TEC-Cooled Laser Diode Mount**



LDM21  
Optics and Adapter  
Not Included

See Our SM1 Accessories  
on Page 207

*Figura. 2.4 Enfriador en miniatura.*

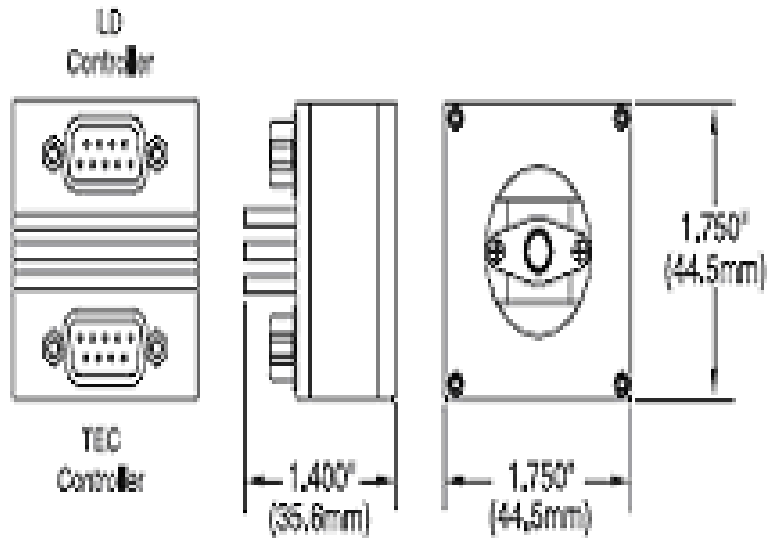
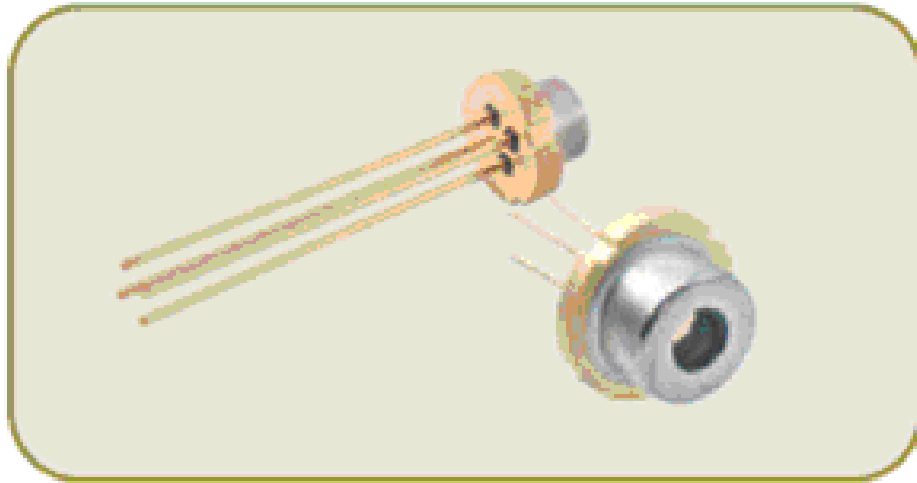


Figura.2.5. Dimensiones del enfriador en miniatura.

La parte frontal de la montura tiene un estándar 1.035-40 hilo, que lo hacen compatible con el SM1 serie de componentes ópticos y permite la adición a la base o central óptica. La parte trasera de la montura DB9 acepta las aportaciones de una fuente de corriente de láser.

Cabe mencionar que Thorlabs ofrece una amplia selección de diodos láser discreto en 5.6mm, 9mm y VCSEL paquetes, en longitudes de onda que van desde 405nm a 1550nm, los cuales tienen un diodo para trabajar en casi cualquier aplicación.

En la figura 2.6 se muestra el láser que se usará en la implementación del proyecto y en la parte de Abajo se indican algunas de sus principales características, además de un cuadro de información del mismo.



*Figura.2.6. Forma física del láser a utilizar.*

Potencia de salida de hasta 1 W.

Norma y configuraciones de pin.

Fabry-Perot y DFB.

VCSEL Diodos.

405nm a 1550nm.

Compatible con Thorlabs' diodo láser y Controladores TEC.

Para poner en marcha cualquier láser se debe conocer la frecuencia de espaciado intermodal a la salida de un láser de fibra dopada con erbio además de otras características para poder sintonizarlo como por ejemplo la longitud de onda a la que trabaja el láser, la longitud de onda de la rejilla de Bragg y el voltaje que provoca la máxima transferencia luminosa. Este sensor láser es formado por una rejilla de Bragg usada como referencia en un extremo de la cavidad y varias rejillas de Bragg usadas como sensores en el otro extremo. Cuando las rejillas sensores son estiradas se forma una excitación láser cuando alcanzan la longitud de onda de reflexión de la rejilla de referencia, además una frecuencia de espaciado intermodal es generada entre cada rejilla sensor y la de referencia.

Los sensores de rejillas de Bragg están actualmente siendo desarrollados para detectar un amplio rango de parámetros físicos tales como temperatura, tensión [7] y presión. Empleando rejillas de Bragg con amplificadores de fibra dopada con erbio es posible hacer sensores láser de fibra.

Los modos longitudinales son igualmente separados por la frecuencia de espaciamento intermodal determinada por:

$$V_F = \frac{C_o}{2nL_o} \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde:

*C<sub>o</sub> es la velocidad de la luz*

*n el índice de refracción*

*L<sub>o</sub> es la longitud de la cavidad.*

### 2.2.1. TRANSISTOR 2N3055.

Hay dos limitaciones a la capacidad de manejo de la potencia de un transistor: la primera es la temperatura promedio de la unión y la segunda es el punto de saturación lo que si se satura rápidamente podría no permitir el buen funcionamiento. En las siguientes figuras 2.7a y 2.7b se muestran las curvas de la zona que indican IC – VCE, es decir los límites del transistor que deben observarse para un funcionamiento fiable; es decir, el transistor no debe ser sometido a una mayor disipación que indican las curvas.

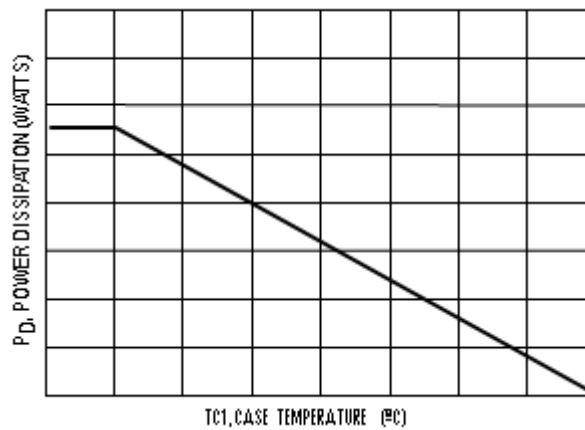


Figura.2.7a. Relación entre T<sup>o</sup> y poder de disipación.



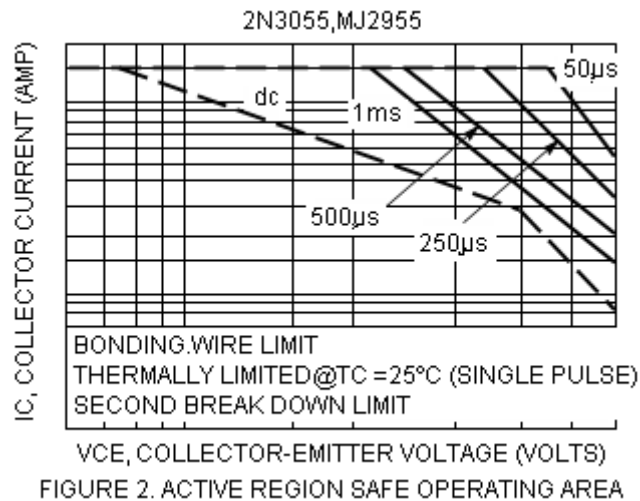


Figura 2.7b. Rangos de operación.

Los datos de la Figura 2.7b se basa en el  $TC = 25\text{ C}$ ;  $TJ$  (pk) es variable en función de nivel de potencia. Segunda ruptura de pulso los límites son válidos para el servicio ciclos al 10%, sino que debe ser para una temperatura de acuerdo a la Figura 2.7a.

### 2.2.2. PIC18F452.

Existen gran cantidad de aplicaciones que se puede realizar con Pics, aplicaciones sencillas en las cuales no se necesita muchos recursos y aplicaciones más complejas en las cuales se necesita microcontroladores muy potentes, por ello y siguiendo esta filosofía, la empresa Microchip fabrica tres tipos de gamas de microcontroladores PIC para atender todas las aplicaciones, microcontroladores de gama baja, gama media y gama alta. Así, hay disponibles microcontroladores sencillos y baratos para atender las aplicaciones simples y otros complejos y más costosos para las de mucha envergadura.

Con las tres gamas de PIC se dispone de gran diversidad de modelos y encapsulados, pudiendo seleccionar el que mejor se acople a las necesidades de acuerdo con el tipo y capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S (entradas/salidas) y las funciones auxiliares precisas. Sin embargo, todas las versiones están construidas alrededor de una arquitectura común, un repertorio mínimo de instrucciones y un conjunto de opciones muy apreciadas, como el bajo consumo y el amplio margen del voltaje de alimentación.

El PIC utilizado para realizar este proyecto es un PIC de la familia 18FXXX (18F452). Es un PIC de la gama alta. En la figura 2.8 se puede apreciar cual es la disposición cada uno de los pines de dicho PIC. Así como también en la tabla 1 se describen sus principales características.

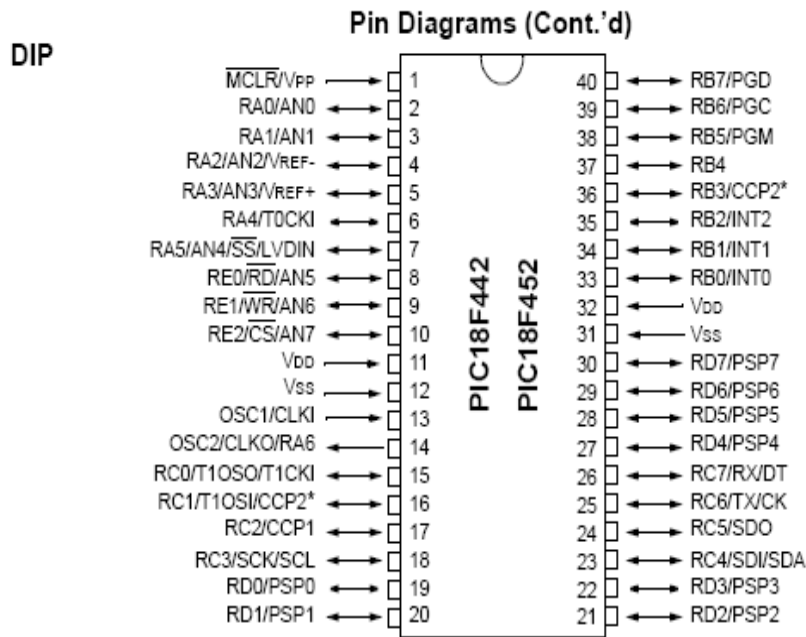


Figura 2.8. Descripción del PIC18F452

Tabla 1. Especificaciones del PIC18F452.

Características	PIC18F452
Frecuencia de operación.	DC-40 MHz
Programa de memoria (Bytes)	32 K
Programa de memoria (instrucciones)	16384
Datos de la memoria (Bytes)	1536
Datos de la memoria EEPROM (Bytes)	256
Interrupción de las fuentes	18
Puertos E/S	A, B, C, D.
Temporizadores	4
Capturar/Comparar/Módulos PWM	2
Comunicaciones Serie	MSSP, Addressable, USART
Comunicaciones Paralelo	PSP
10bits Analógico-Digital Módulos	8 canales de entrada
Restablecer y retrasos	POR, BOR, Instrucción de RESET, Stack Full, Stack Underflow, (PWRT, OST)
Detector de bajo voltaje programable	Si
Restablecer Brown-out Programable	Si
Conjunto de instrucciones	75 Instrucciones
Paquetes	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP

### **2.2.3. LÁSER.**

Los láseres de emisión multilínea tienen gran interés en diversos campos, como en sistemas de comunicación con mecanismos multiplexadores (WDM), sensores de fibra, procesado de señales, calibrado de instrumentos ópticos o espectroscopia. Por ello, es deseable conseguir un alto número de longitudes de onda, y que además sean sintonizables.

El fundamento del láser: la emisión estimulada. El átomo está integrado por un núcleo, formado por un conjunto de protones y neutrones, y por una serie de electrones emplazados a determinada distancia, alrededor del núcleo. Electrones, protones y neutrones son las tres partículas básicas. Los electrones poseen una masa muy pequeña y carga negativa. Por su parte, protones y neutrones tienen aproximadamente la misma masa, pero mientras los primeros poseen carga eléctrica positiva, los neutrones carecen de carga. Los electrones del átomo, cuya energía depende de su distancia al núcleo, pueden encontrarse en estado excitado —con una energía superior a la normal— o en reposo. En el estado excitado, el electrón almacena una determinada proporción de energía.

En virtud del llamado proceso de absorción, cuando un fotón choca con un electrón no excitado, puede hacer que pase al estado de excitado. Habitualmente, un electrón que resulta excitado, al cabo de un tiempo pasa nuevamente al estado de reposo, emitiendo al pasar un fotón. Este fenómeno, conocido como emisión espontánea, es el que tiene lugar, por ejemplo, en el Sol o en las bombillas. Ahora bien, un electrón puede ser inducido a liberar su energía almacenada. Si un fotón pasa al lado de un electrón excitado, éste retorna al estado no excitado a través de la emisión de un fotón de luz igual al que pasó junto a él inicialmente. Este proceso se conoce como emisión estimulada y constituye el fundamento del láser.

Como parte de este proyecto el principal láser o al menos el que se utilizará para realizar las primeras pruebas de este proyecto es el DFB modelo 976M11F-01 de la compañía Mitsubishi electrical company. Recordando que

éste tendrá la capacidad de ser utilizado para cualquier láser. En la tabla 2 se muestran las principales especificaciones de éste láser.

Tabla.2. Todas estas tablas muestran las principales especificaciones del láser.

Principales características del Láser.

LÁSER	ML925B11F
Longitud de onda de operación del láser	1550 nanómetros (nm)
Potencia del láser	10 miliWatt
Descripción de Pines	1 Cátodo del láser 2 Monitor de diodo ánodo 3 Caso ánodo del láser 4 monitor de diodo cátodo

Rango Absoluto máximo (Tc=25 °C).

Características	Símbolo	Rangos
Potencia Óptica de Salida	Po	10mW
ID Tensión Inversa	$V_{R(LD)}$	2 V
PD Tensión Inversa	$V_{R(PD)}$	20 V
Temperatura de Operación	Tc	-40 a + 85 ° C
Máxima Rango de Temperatura	$T_{srg}$	-40 a + 100° C

Características Eléctricas Ópticas.

Características	Símbolo	Mínimo	TYP	Máxima
Corriente de Umbral	$I_{th}$	-----	8 mA	15 mA
Corriente de Operación	$I_{og}$	-----	25 mA	40 mA
Voltaje de Operación	$V_{op}$	-----	1.1 V	1.5 V
Longitud de Onda	$\lambda_p$	-----	1530 nm	1570 nm
Grados de Divergencia	0 0.1	----- -----	25 ° 35 °	35 ° 45 °
Monitor de Corriente	$I_{nt}$	0.5 mA	0.2 mA	-----
Lado de Represión del Ratio	SMSR	35 dB	40 dB	-----

5.6 mm de paquete

InGaAsP MQW, DFB Estructura de (Distribución cuántica múltiple)

Rápido Tiempo de Respuesta (ascenso y caída de tiempo en 0.2 ns típico, 0.4 ns máximo.

Lado de represión del Ratio 40 dB típico 30 dB mínimo a 5 mW

ITEM <sub>H</sub>	£*	€*	RMB
	1-5 PCS	1-5 PCS	1-5 PCS
ML925B11F	£ 459.80	€ 678,70	¥ 6,969.60

El uso de éste láser, se debe a que puede ser sintonizado en un rango determinado en longitud de onda. Un aspecto muy importante a la hora, para el funcionamiento óptimo. Para ello es importante conocer el comportamiento

de la temperatura en función de la resistencia del termistor (ver figura 2.9). En la figura 2.10 se muestra un diagrama esquemático del enfriador, de forma física el termistor se encuentra internamente en el enfriador.

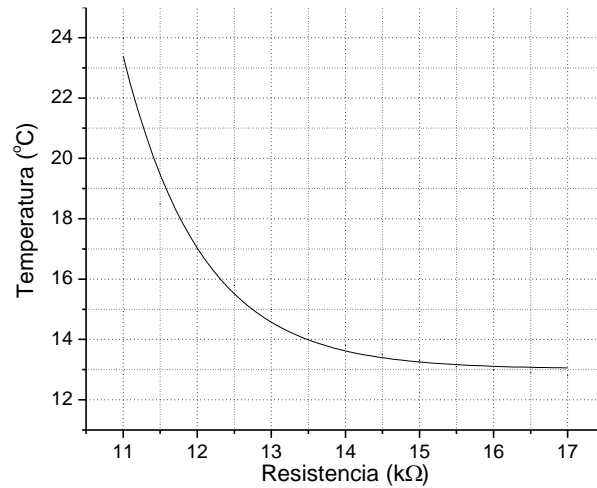


Figura.2.9. Comportamiento de la temperatura en función de la resistencia del termistor.

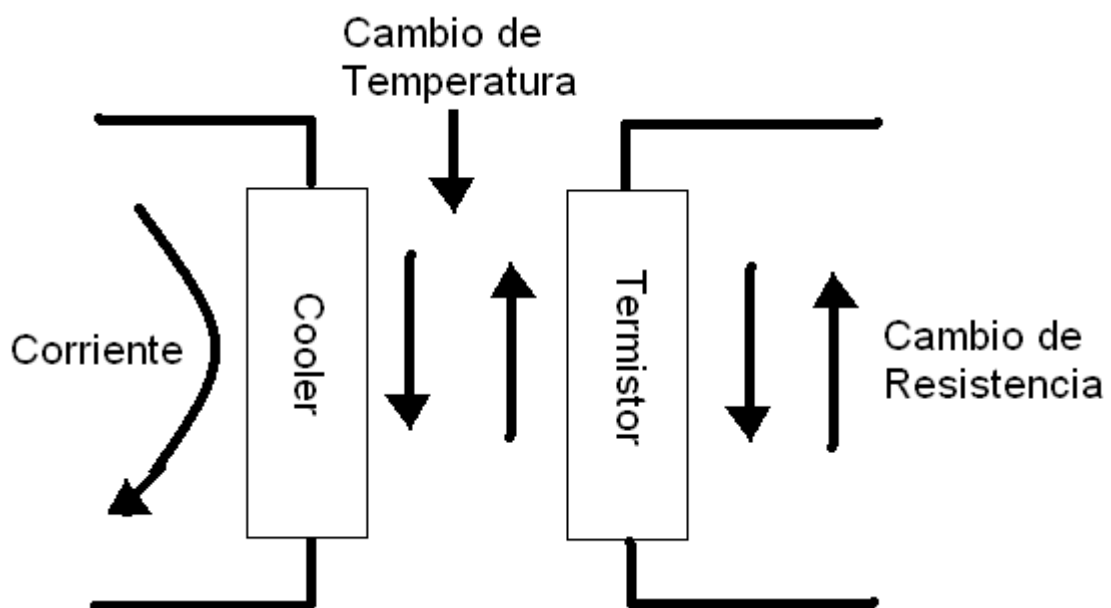


Figura.2.10. Diagrama esquemático del enfriador.

A temperatura ambiente la resistencia del termistor puede variar, ya que la temperatura ambiente puede cambiar de una hora a otra o de un día a otro, por lo que la corriente que se necesita para alcanzar una determinada temperatura en el láser tampoco es

constante. Por ejemplo si quiere sintonizar el láser en una longitud de onda específica y para ello la temperatura debe estar en  $17^{\circ}\text{C}$ , la resistencia del termistor debe estar en  $12\text{ K}\Omega$ , se tiene que incrementar la corriente e ir midiendo la resistencia del termistor para ver como baja la temperatura, pero este no es el problema. El problema es que esa corriente si permanece constante, debido al cambio de la temperatura ambiente, el calentamiento de equipos y otros factores más cambian la temperatura del entorno, y repercutirá en un cambio de resistencia en el termistor, por que siempre hay que estar monitoreando la resistencia del termistor para saber si se está en el rango de selección de longitud de onda deseado. Si la temperatura aumenta la resistencia baja y esto nos lleva a incrementar la corriente en el enfriador para mantenerlo en el rango establecido.

#### **2.2.4. REJILLA DE BRAGG.**

Debido a la necesidad de seguir obteniendo mayor aprovechamiento de sus características, se han creado dispositivos dentro de la fibra, es decir, dispositivos de fibras ópticas como acopladores WDM's (Wavelength Division Multiplexing), filtros, amplificadores, que han contribuido al desarrollo de sistemas de fibras ópticas debido a que son intrínsecamente de baja pérdida y pueden ser interconectados a otros sistemas de fibra que transportan señales complejas. Uno de los últimos dispositivos de fibra óptica son las denominadas "rejillas de Bragg de fibra óptica" las cuales pueden ser utilizadas para reflejar, filtrar ó dispersar luz sin abandonar el núcleo de la fibra, evitando la necesidad de utilizar espejos dieléctricos de volumen y rejillas de difracción, disminuyendo con esto, pérdidas de energía. Son ideales para un amplio rango de aplicaciones siendo un elemento clave en el campo de las comunicaciones ópticas y en sensores de fibra óptica, además de tener aplicaciones en láseres de fibra óptica [1].

Una rejilla de Bragg consiste de una modulación periódica del índice de refracción del núcleo de una fibra óptica, por lo general monomodo, lo cual también puede verse como un arreglo periódico de placas o películas de 2

índices de refracción diferentes, denominados índice de refracción alto  $n_H$  ( $\sim 1.4563$ ) e índice de refracción bajo nivel ( $\sim 1.456$ ) [2].

En la figura.2.11. Vemos una cavidad láser de fibra óptica con tres rejillas de Bragg actuando como espejos, un medio amplificador y un sistema de bombeo. Dos de las rejillas (#3 y #2) funcionan como cabezas del sensor y una como referencia (#6).

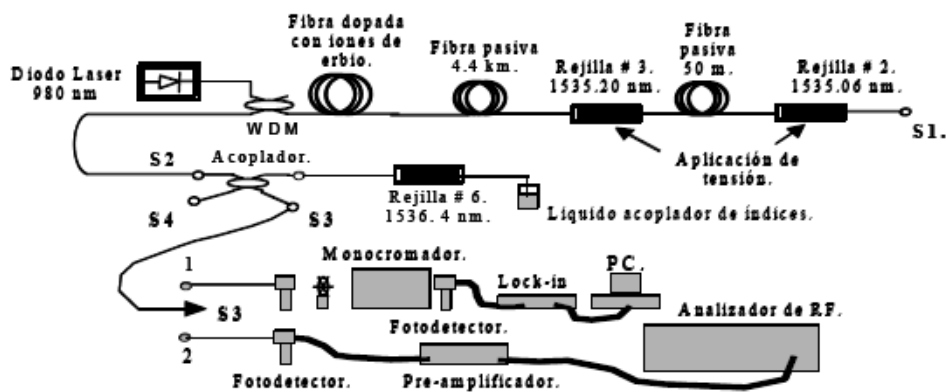


Figura.2.11. Cavidad láser en arreglo de sensor multipunto y remoto.

La reciente incorporación de las rejillas de Bragg a los sensores de fibra óptica, ha favorecido el desarrollo de este campo [4]. Existen diversos sensores de fibra óptica que basan su funcionamiento en la utilización de dos rejillas de Bragg idénticas [3] o de varias de ellas. En algunas de estas configuraciones una de las rejillas es utilizada como la punta de referencia y las demás como puntos de muestreo; la lectura de la señal se realiza por medio de un espectrómetro [5]. Otra aplicación importante de dos rejillas de Bragg idénticas es la construcción de cavidades para láseres de fibra. Este tipo de cavidades se usa en láseres de fibra: de onda continua, de doble longitud de onda [4] y de pulsos cortos [7].

El arreglo que se propone como sensor, es un sistema láser lineal, el cual se puede dividir en tres bloques: la parte de bombeo, el medio activo y la cavidad (ver Fig.2.12). La cavidad en este arreglo se encuentra formada por dos rejillas de Bragg. Las cuales están situadas en los extremos de la fibra con impurezas

de erbio. La idea principal en este sensor radica en detectar a la salida de alguna de las rejillas, las variaciones de intensidad de la señal debida a la modificación de alguno de los parámetros del sistema. El parámetro que se modifica en este caso, es la reflectancia de una las rejillas. Para ello

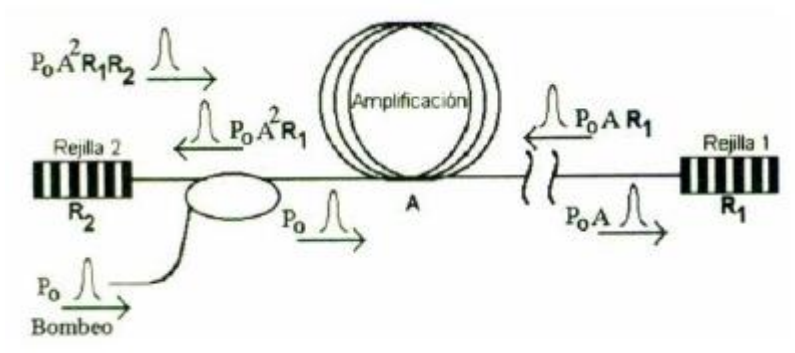


Figura.2.12. Representación de una cavidad láser utilizando dos rejillas de Bragg.

Se introduce un cambio en la temperatura y se observa la variación de la intensidad en la señal que sale a través de cualquiera de las rejillas.



## **CAPITULO III.**

### **3. PROCEDIMIENTO.**

#### **3.1. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.**

En cuanto al procedimiento, a continuación se muestra las etapas del proyecto. La cual da a entender de qué manera se integra. Además de la explicación más detallada de cada una de las partes que integran este proyecto.

Uno de los primeros estudios que se hicieron fue investigar el funcionamiento de los láseres y para ello iniciaremos con algunas de sus principales aplicaciones.

El láser es un dispositivo electrónico que amplifica un haz de luz de extraordinaria intensidad. Se basa en la excitación de una onda estacionaria entre dos espejos, uno opaco y otro traslúcido, en un medio homogéneo. Como resultado de este proceso se origina una onda luminosa de múltiples idas y venidas entre los espejos, que sale por el traslúcido.

El fenómeno de emisión estimulada de radiación, enunciado por Einstein en 1916, constituye la base de la tecnología empleada en la fabricación de dispositivos láser.

Con la ayuda del láser, se fortalecen y alinean ondas electromagnéticas. Por tanto, se obtiene un rayo de luz energético que puede utilizarse de forma selectiva para cortar o quemar (por ejemplo, cortes en las encías o lengua, quemadura de folículos pilosos como método de extracción capilar, calentamiento de gel terapéutico, etc.) la zona designada para el tratamiento. La utilidad selectiva del láser es posible gracias a sus longitudes de onda exclusivas (que se reconocen por el color de la luz). Esto difiere del tipo de láser utilizado.

El cooler es un ventilador que se utiliza en los gabinetes de computadoras y otros dispositivos electrónicos para refrigerarlos. Por lo general el aire caliente es sacado desde el interior por estos dispositivos.

Éstos se utilizan especialmente en las fuentes de energía, generalmente en la parte trasera del gabinete de la computadora. Actualmente también se incluyen en los microprocesadores y placas que pueden sobrecalentarse. Incluso a veces son usados en distintas partes del gabinete para una refrigeración general.

Estos elementos que, en funcionamiento, suelen ser de los más ruidosos en una computadora. Por esta razón, deben mantenerse limpios, aceitados y ser de buena calidad. Los viejos ventiladores podían producir sonidos de hasta 50 decibeles, en cambio, los actuales están en los 20 decibeles.

Por lo general los ventiladores en las PCs de escritorio están continuamente encendidos, en cambio en las computadoras portátiles suelen prenderse y apagarse automáticamente dependiendo de las necesidades de refrigeración (por una cuestión de ahorro energético).

### **3.2. CONFIGURACIÓN DE LA FUENTE.**

En este proyecto se utilizaran dos fuentes una fuente de 5 volt y la otra de 12 volt. La fuente que en su salida entrega 12 volts de CD es la que alimenta al enfriador.

Pero esto es lo que vamos a utilizar para mantener la temperatura adecuada de funcionamiento del láser.

Así que en su conexión con la fuente, habrá un resistor variable de  $2\text{ k}\Omega$ , este tendrá la función de proteger al enfriador, así pues cuando se pone en funcionamiento, el resistor eleve el nivel de voltaje de la fuente y esto hará que el cooler no se enfrente a variaciones bruscas de de voltaje figura 3.1.

El resistor tendrá que entregar una variación gradual de voltaje de 1.25 volts hasta 13 volts siendo 11.94 volts el voltaje recomendado para el mejor funcionamiento del láser, siendo 500 mA la corriente necesaria para alimentar al enfriador.

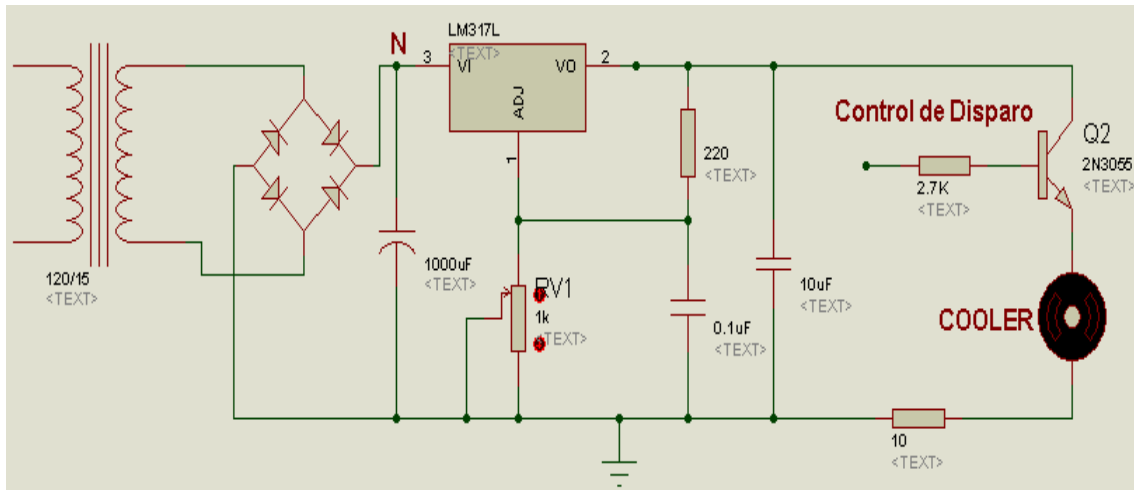


Figura.3.1. Circuito de la fuente que alimenta al cooler.

El diseño de esta fuente es la etapa de conversión de corriente alterna (ca) a una corriente directa (cd), además de que nos proporciona un voltaje de cd regulado.

El transformador es conectado a la línea de 110 Vca y hace la función de un reductor de voltaje de ca, de 110 V a 15 V, luego la señal es convertida de Vca a Vcd mediante el puente rectificador de onda completa.

El capacitor de 1000  $\mu\text{F}$  filtra la señal de cd para mantener fija la señal y no tenga fluctuaciones a la salida de este, por lo regular este capacitor debe ser grande (de 1000  $\mu\text{F}$  o mayor a éste).

El circuito LM317 es un regulador de voltaje variable, esto lo realiza con el potenciómetro donde se puede cambiar el voltaje de salida si así se considera. Entre las terminales de salida y la de ajuste de este regulador, siempre hay una diferencia de voltaje de 1.2 V. Por lo que el mínimo voltaje que se puede tener con este regulador es 1.2 V. El voltaje regulado de salida es entonces:

$$V_r = 1.2 + V_{p1}$$

Ecu. 2

Donde:

$V_r$  es el voltaje regulado de salida

$V_{p1}$  es el voltaje en  $p1$  y se puede determinar mediante la ley de Ohms.

El capacitor de 10  $\mu\text{F}$  elimina los problemas causados por la existencia de terminales largas entre el rectificador y el LM317 y el capacitor de 0.1  $\mu\text{F}$  elimina las pequeñas variaciones de voltaje que existe cuando el potenciómetro varía su resistencia la cual tiene un voltaje de salida de aproximadamente 12 V siendo el voltaje requerido de 11.9 V.

En la Figura 3.2. Se muestra el diagrama del circuito del que alimenta al PIC18F452 utilizando para ello el 7805.

El diagrama que se muestra en la figura antes mencionado se une al circuito anterior que se muestra en la figura 3.1 uniendo el pin 1 del 7805 al NODO N del circuito anterior obteniendo en el pin 3 y la tierra, los 5 V que alimentara al PIC.

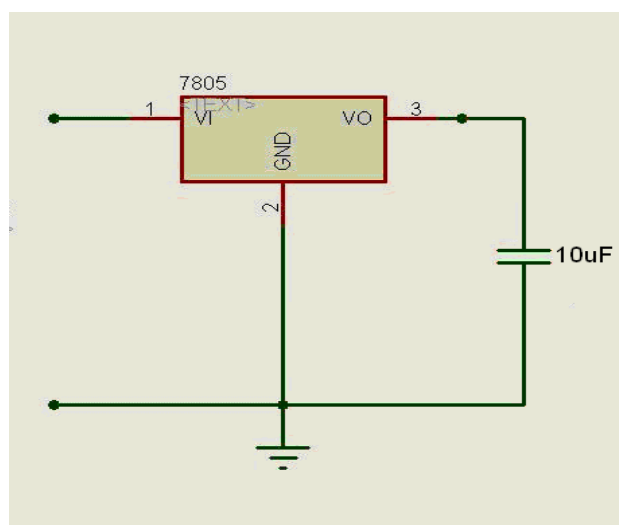


Figura.3.2. Fuente de alimentación del PIC18F452.

El cual sirve para alimentar la parte central del circuito el cual consta del PIC mencionado anteriormente, un LCD, el teclado matricial y el banco de transistores que se utiliza como control de disparo.

La parte donde va conectado el termistor se muestra en la figura.3.3 la resistencia en la cual la longitud de onda del láser DFB coincide con la rejilla de Bragg se encuentra en un rango de 15.9 K  $\Omega$  y 17.1 K  $\Omega$ . Con esta variación de resistencia, se observa que la variación de temperatura es de 0.3 ° C. De acuerdo a esto el usuario ingresa los valores de resistencia, por ejemplo 15.9 K  $\Omega$ , 17.1 K  $\Omega$  y por medio de la programación se dividen en 6 posiciones diferente, para cubrir el rango en el cual se tiene el máximo rango de funcionamiento. Cuando el termistor cambia en resistencia, genera un cambio de voltaje en el punto g del circuito cabe mencionar que el punto g que se menciona en donde va conectado el termistor.

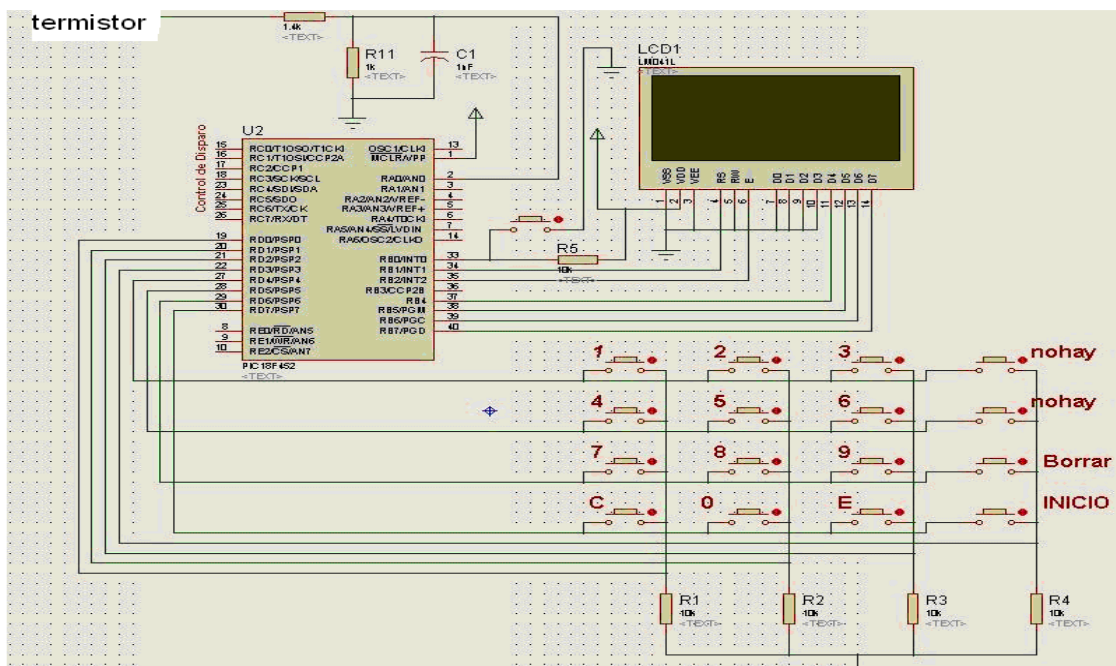


Figura 3.3. Arriba se muestra donde va conectado el termistor.

Para el proceso de comparación de voltaje, se tiene que ingresar los valores de resistencias los cuales obedecen al rango de resistencia del termistor en el cual la longitud de onda del láser coincide con la longitud de onda de la rejilla de

Bragg (es decir se selecciona el rango superior e inferior de longitud de onda en que trabaja el láser) para obtener la máxima transferencia luminosa.

Haciendo un barrido de la resistencia del termistor se encuentra que ese es el rango de máxima amplitud de reflexión (Figura3.4). Por barrido se entiende que continuamente se monitorea el valor de la resistencia del termistor para ver de qué manera afecta su valor a la corriente como a la temperatura.

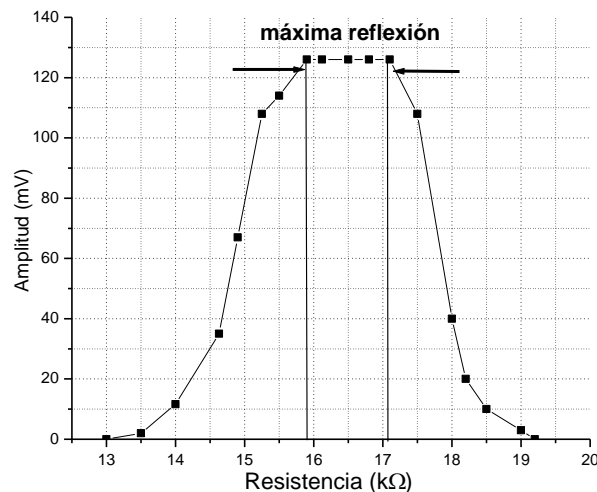


Figura3.4. Rango de resistencia del termistor donde hay máxima reflexión por la rejilla de Bragg.

La etapa de comparación es realizada por medio del software que contiene el PIC18F452, en el que se guardan los valores de resistencias, el intervalo generado por las resistencias es dividido en seis diferentes rangos y conforme el valor de voltaje medido en el termistor del cooler aumenta el comparado activa las diferentes salidas. Los rangos se obtienen al introducir los valores de las resistencias, por ejemplo en la figura 3.4 se muestran los valores de las resistencias que se ingresan y de ahí se obtiene el rango de operación el cual se divide en seis segmentos, pero este va a depender del rango que se seleccione al introducir los valores de la resistencia pues este puede ser mas grande.

La ventaja de tener un comparador programado es que el intervalo que genera las resistencias puede ser bastante pequeño y el PIC realizara la división del intervalo entre seis para la activación de las diferentes salidas con el fin de mantener una temperatura estable en el láser semiconductor. Como antes se

mencionó los tamaños de estos intervalos va a depender del rango de operación seleccionado, el cual puede variar para diferentes láseres; si el rango de operación es mas grande que el ejemplo que se mencionó de todas maneras ese rango se debe dividir en seis intervalos para que cada una de ellos represente una salida que controlará al enfriador y por lo tanto la temperatura del láser, cabe mencionar que cada una de esas salidas se va activar dependiendo de la tensión medida en el termistor.

Los segmentos de comparación se puede obtener por medio de las siguientes formulas:

$$\text{delta} = \frac{R2 - R1}{6} \quad \text{Ecu.3}$$

$$\text{pos} = \frac{x - R1}{\text{delta}} \quad \text{Ecu.4}$$

**Donde:**

*Delta= incrementos.*

*R1=voltaje correspondiente al primer valor ingresado en el teclado.*

*R2=voltaje correspondiente al segundo valor ingresado en el teclado.*

*pos =posición.*

*X= voltaje medido en el termistor interno del cooler (punto G).*

En la Ecu.3 se puede determinar el valor de los segmentos, es decir cuanto mide cada segmento y en la Ecu. 4 se determina la posición y dependiendo de la posición se activa una salida en el puerto C del PIC18F452 y como el intervalo fue dividido anteriormente en 6 segmentos solo son 6 los pines que se activan alternadamente según el valor de *pos*.

Debido a que son una red de seis divisores de voltaje, se necesita seis comparadores de voltaje, para tener una mayor sensibilidad en el cambio de corriente en el transistor. Cada una de las salidas de los comparadores irá conectados a la base de los transistores que se muestran en la figura.3.5. La resistencia Rx es la que hace que el voltaje regulado de salida del LM317 será cuando todos los transistores se encuentran desactivados y por lo tanto habrá



una corriente máxima de colector a emisor del transistor figura 3.5 que circulará por el enfriador. Cuando un transistor es activado, la resistencia Rx se pone en paralelo con la resistencia de emisor del transistor que se activó y por consiguiente el LM317 experimentará una reducción en su voltaje de salida.

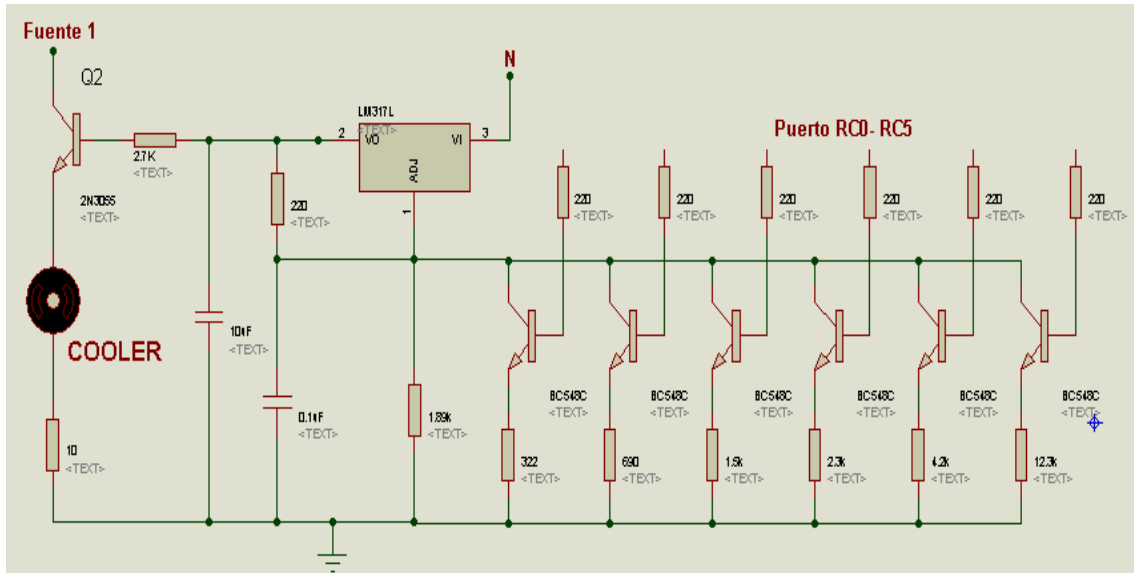


Figura.3.5. Circuito de banco de transistores que se utiliza como control de disparo.

En la figura 3.5 se muestra el banco de transistores que se utilizan como ajuste de voltaje del LM317 obteniendo en su salida un voltaje regulado, el cual es el control de disparo del transistor 2N3055, a su vez esta varia la corriente que circula por el enfriador.

Así pues dependiendo de la corriente que le llega al enfriador esta hará que el ventilador gire a cierta velocidad, es decir entre más corriente más revoluciones del ventilador y si es menor pues las revoluciones de éste disminuirán para mantener al láser a la temperatura óptima de funcionamiento.

Hay ciertos valores específicos de voltaje y resistencias que son manejados los cuales se mencionan en la tabla 3.

TABLA 3: Principales valores de resistencia y voltaje manejados frecuentemente.

Resistencia en el pin de ajuste del LM317	Voltaje en la salida del LM317	Voltaje en el pin de ajuste del LM317
1.891 k $\Omega$	11.94 V	10.71 V
1.369 k $\Omega$	10.51 V	9.27 V

1.3 k $\Omega$	8.64 V	7.41 V
1.036 k $\Omega$	7.16 V	5.86 V
822 $\Omega$	3.87 V	4.64 V
506 $\Omega$	4.09 V	2.87 V
268 $\Omega$	2.75 V	1.5 V

Hasta aquí se ha explicado los pasos que se siguieron para diseñar la fuente de alimentación para el enfriador. El enfriador es específicamente una montura que controla la temperatura de un diodo láser, la cual, puede ser operada con una gran precisión en el control de temperatura y así poder seleccionar la longitud de onda de un láser sintonizable. Este enfriador tiene la particularidad de que los diodos láseres pueden ser fácilmente montados en él.

### 3.3. LÓGICA DEL CIRCUITO Y DIAGRAMA COMPLETO.

En este punto se presenta la conexión completa de la fuente que alimenta al enfriador mostrando la conexión de cada uno de los componentes electrónicos que el circuito contiene. Cabe mencionar que el diseño del circuito fue llevado a cabo de manera que todos los componentes fueran comerciales y no hubiera problema en su adquisición de cada uno de ellos.

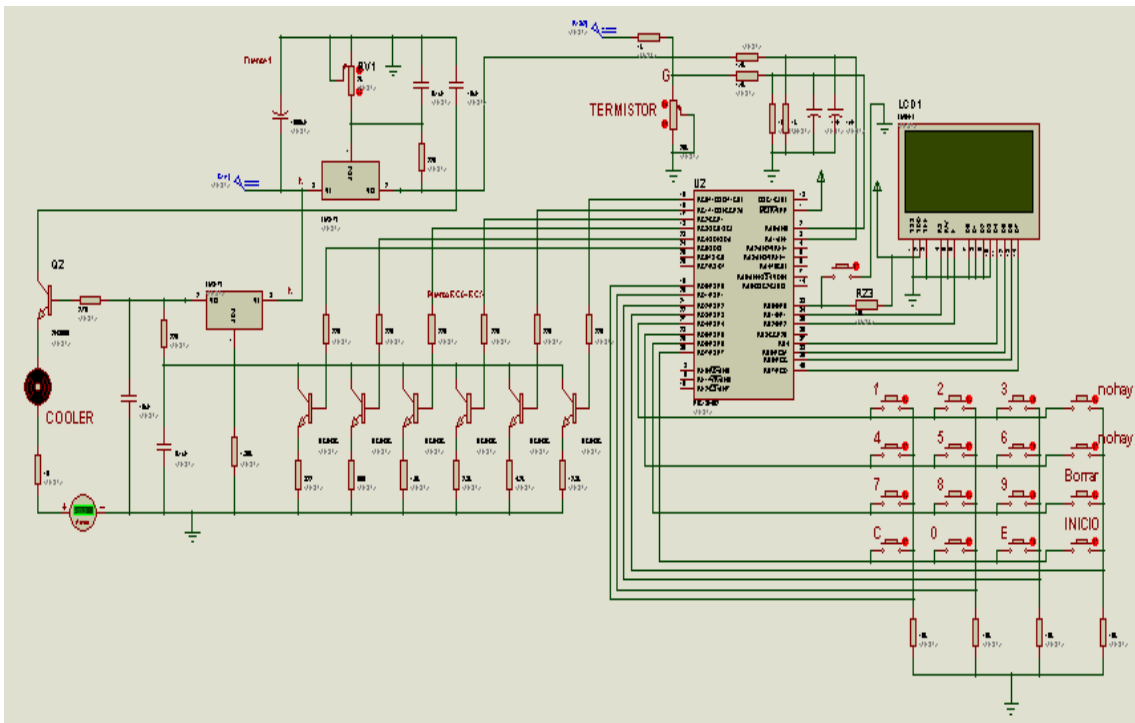


Figura3.6. Diagrama completo del sintonizador.

Normalmente el termistor presenta una resistencia a temperatura ambiente a bajo de este rango (entre 11 K $\Omega$  y 12 K $\Omega$ ). A estas resistencias la temperatura es de 23.5 ° C y 17 ° C respectivamente, según la gráfica de la figura 2.10.

Sin embargo, para sintonizar una longitud de onda del láser de 1549.1 nm, que es la longitud de onda de reflexión de la rejilla de Bragg, tiene que haber un rango de resistencia en el termistor de 15.9 K $\Omega$  a 17.1 K $\Omega$ , la cual presenta un rango de temperatura de aproximadamente de 0.3 ° C.

Para bajar la temperatura de este dispositivo se necesita que circule una corriente por el enfriador y a partir de aquí empieza el funcionamiento del circuito diseñado. Cuando se prende el circuito no existe comparación, y por consiguiente ninguno de los transistores de la etapa de control de disparo está activo.

Sin embargo la resistencia Rx ejerce un voltaje de salida en el LM317, este voltaje es el máximo que el LM317 permite a la salida. Este voltaje va directamente a la base del transistor 2N3055 y por lo tanto habrá una corriente máxima que circula por el enfriador. Esta corriente es de 500 mA y la resistencia Re es de 10  $\Omega$ . Esta corriente ejerce un cambio de temperatura en el enfriador y por lo tanto cambia la resistencia del termistor. A mayor corriente la resistencia aumenta y por la tanto la temperatura disminuye. Por ejemplo cuando el termistor presenta una resistencia mayor a la primera resistencia de 15.9 K $\Omega$ , el comparador de voltaje en el pic se activa y este por lo tanto activa al primer transistor correspondiente a Rco, poniendo la resistencia Re de este transistor en paralelo con la resistencia Rx. La resistencia total de esto disminuye e influye en una disminución de voltaje en la salida del LM317 y por lo tanto la corriente que circula por el cooler disminuye. Y conforme se activen las comparaciones en el pic la corriente por el cooler seguirá disminuyendo hasta una mínima corriente. Las corrientes son por lo tanto: 500 mA, 450 mA, 380 mA, 310 mA, 250 mA, 180 mA y 100 mA; para cada una de los comparadores que se van activando. El uso de estas seis comparaciones es para suavizar un poco el cambio de corriente que circule por el cooler. Los

transistores del 1 al 6 son BC548 y son transistores de baja potencia que trabajan como conmutadores.

Hay que notar que tanto el LM317 y el transistor 2N3055 deben ir montados sobre un disipador de calor para su mejor funcionamiento mientras trabajan para que estos no sean dañados.

## **CAPÍTULO IV**

## 4. RESULTADOS

### 4.1. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS.

Como parte final del trabajo se hace un bosquejo resumido del proyecto realizado, así como la prueba que nos indica que el circuito funciona

Cabe mencionar que como antecedente de este proyecto se contaba con un circuito puramente analógico (ver figura 4.1) y que la parte que ahora realiza el PIC eran realizadas por resistencias, potenciómetros y circuitos LM339 los cuales realizaban la comparación de los voltajes, marcado de rojo en la figura 4.1.

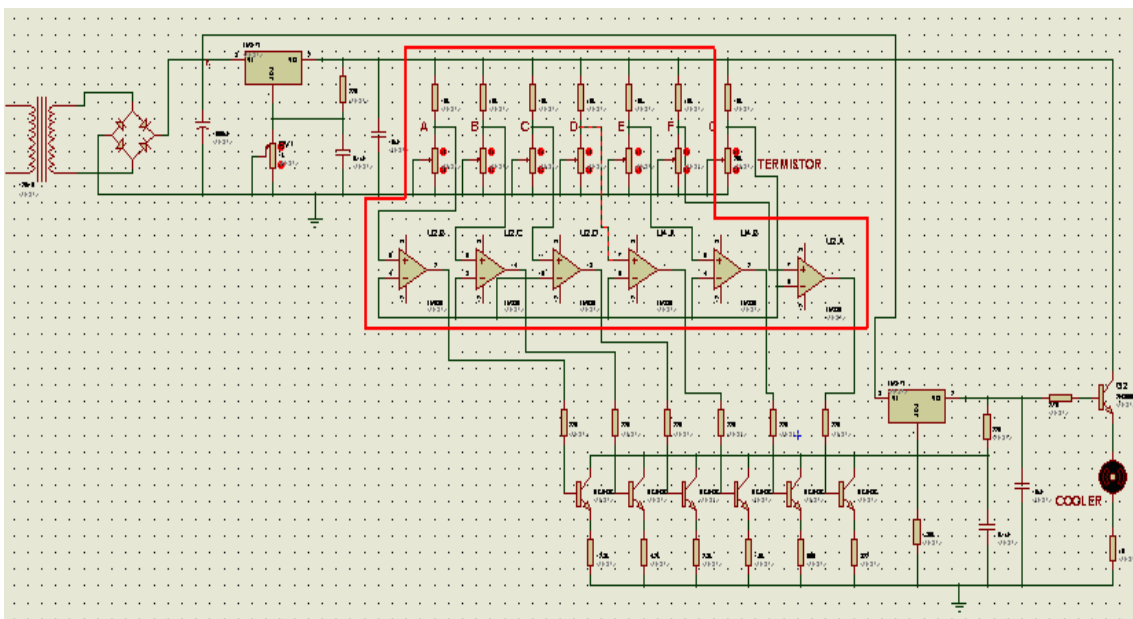


Figura.4.1 Diagrama analógico de del sintonizador.

El circuito final del proyecto se muestra en la figura 3.6, el funcionamiento puede ser descrito por los siguientes pasos.

1. Al encender el circuito el programa del PIC muestra en el LCD la precitación, seguido de la adquisición de parámetros.
2. Por medio del teclado matricial se introduce los valores de las resistencias, observando que primero se introduzca la de menor valor y después la de mayor valor. Las resistencias se selecciona dependiendo de la longitud de onda que desee el usuario.

3. Una vez obtenido los valores de resistencia en el LCD, se procede a inicializar el programa, o en caso de que las resistencias no sean las correctas se pueden borrar los valores.
4. En caso de que el programa sea inicializado, se observa en el LCD los valores de resistencia convertidos en valores de voltajes esto con el objetivo de conocer el rango de trabajo, inmediatamente después el usuario debe elevar el valor de voltaje que se le aplica al enfriador, por medio del potenciómetro de  $2\text{ K}\Omega$  que se encuentra en la fuente, asegurándose que el voltaje de salida de dicha fuente no rebase de  $12\text{V}$  y es observado en el LCD como *VCool*.

Una vez cumplido los pasos anteriores, se puede observar en el enfriador que comienza a trabajar a su máxima corriente la cual es de  $500\text{ mA}$  y comienza a disminuir conforme el termistor gana resistencia.

La estabilidad se logra cuando por medio de los valores de comparación de voltajes, la corriente que se le brinda al enfriador es regulada en un parámetro de  $500\text{mA}$  hasta  $100\text{ mA}$ .

Es preciso explicar que las pruebas realizadas al sistema no se hicieron con los equipos que deben ser ya que son equipos demasiado costosos imposible para nosotros conseguirlos. Estos equipos sólo se encuentran en industrias o equipos de investigación tales instrumentos son el **Analizador de Espectros Ópticos (OSA)** mostrado en la figura 4.2 así como también el **Medidor de Potencia (MP)** figura 4.3.



*Figura.4.2. Analizador de espectro óptico modelo AQ6319*



Figura.4.3. Medidores de potencia.

Una de las pruebas realizada al proyecto consta de conectar una lámpara de coche al sistema y simulando la variación de resistencia del termistor por medio de un potenciómetro multivoltas de 20KΩ. En la figura 4.4 se observa las conexiones que se realizaron.

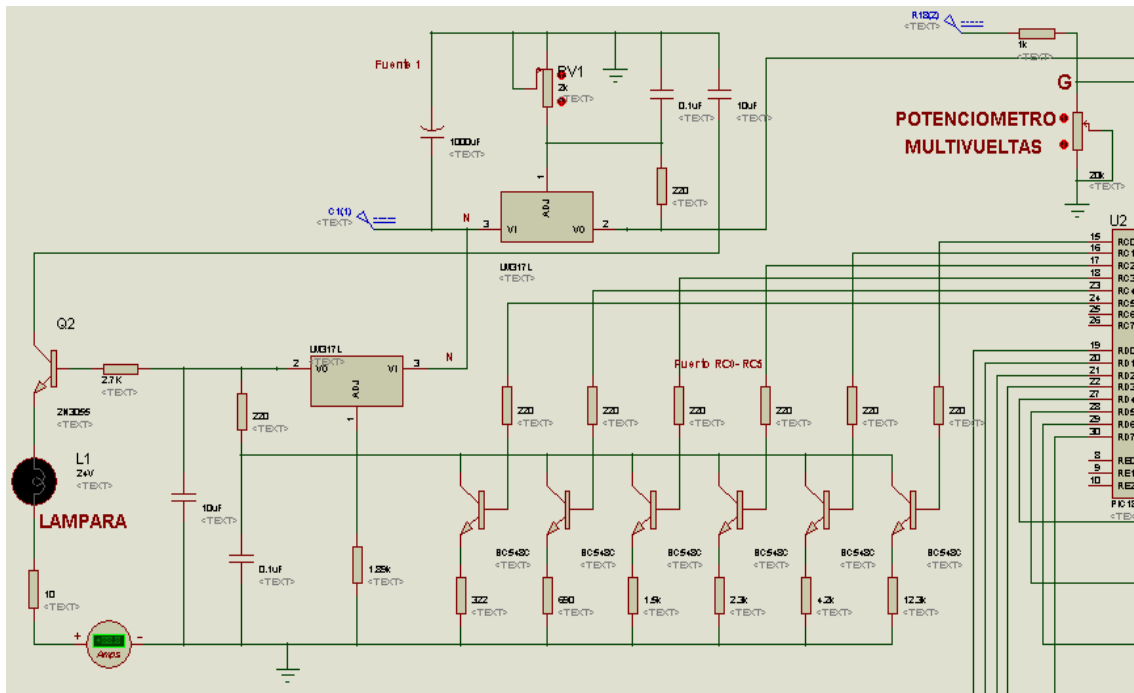


Figura 4. 4 circuito que muestra la conexión del la lámpara para coches.

La lámpara usada en esta prueba fue una lámpara tipo torreta, con las características de alimentación de 12v y un consumo de corriente de 500mA. La apariencia es la que se muestra en la figura 4.5.





Figura 4.5 Lámpara para coche tipo torreta

Sabiendo que la corriente máxima consumida por lámpara es de 500mA, se realiza la prueba inicializando el sistema con el intervalo de resistencias de 15.9 K $\Omega$  y 17.1K $\Omega$  esto nos da que el intervalo de voltaje es de 7.36V a 7.57V, teniendo como rango de operación 0.21V.

Para obtener los valores de incrementos siguiendo la ecuación 3, se debe dividir el rango de operación entre seis que es el número de comparaciones, en este caso el rango de operación sería de 1.2K $\Omega$  y el valor de los incrementos ( $\Delta$ ) es de 240 $\Omega$  que pasado a voltaje es 0.035v. Esto quiere decir que cuando el voltaje del termistor varié 0.035v se activara o desactivada un transistor de salida del PIC.

Los valores de comparación se obtienen sumándole voltaje de la resistencia menor el incremento según la posición que desee obtener. Ver tabla 4.

Tabla 4. Obtención de la posiciones de comparación

posición	Operación	Valores obtenidos en la prueba
0	VR1	7.36V
1	VR1 + $\Delta$	7.36V + 0.035V = 7.395 V
2	VR1 + 2( $\Delta$ )	7.36V + 0.07V = 7.43 V
3	VR1 + 3( $\Delta$ )	7.36V + 0.105V = 7.465 V
4	VR1 + 4( $\Delta$ )	7.36V + 0.14V = 7.5 V
5	VR1 + 5( $\Delta$ )	7.36V + 0.175V = 7.535 V
6	VR1 + 6( $\Delta$ )	7.36V + 0.21V = 7.57 V

Una vez obtenido las posiciones de comparación. Se procede a simular esos valores por medio del potenciómetro multivuelatas de 20K $\Omega$ , y se observa la corriente de salida en la lámpara.

Como el sistema comienza a trabajar con la máxima corriente de salida se observó que la lámpara encendió con mucha intensidad mostrando una corriente de 490mA y conforme se eleva el voltaje del potenciómetro 20K $\Omega$  la corriente es atenuada hasta un nivel de 109mA y visualmente se observó que la lámpara que tiene la fusión de torreta disminuyó la intensidad de luz y la velocidad de su torreta, todo los valores medidos se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados

Voltaje del potenciómetro 20K $\Omega$	Corriente en la lámpara	Voltaje en el colector del transistor 2n 3055
7.382 V o menor	490mA	11.94V
7.410 V	446mA	11.94V
7.457 V	378mA	11.94V
7.483 V	310mA	11.94V
7.521 V	238mA	11.94V
7.546V	174mA	11.94V
7.57 V o mayor	109mA	11.94V

En la prueba los valores que se obtuvieron fueron aproximados a los del diseño principal por lo que la fuente esta funcionando correctamente.

También se probaron casos en los que el voltaje del potenciómetro disminuía con el afán de observar si la corriente de salida de la lámpara sufría algún cambio o se mantenía con el valor que le correspondía, y afortunadamente se mantuvieron los valores establecidos.

## CONCLUSIÓN DEL TRABAJO.

El presente trabajo tiene la factibilidad de poder controlar la temperatura de diferentes láseres, es decir, que conociendo el rango de operación de los láseres se puede sintonizar para poder controlar dicha temperatura y evitar que éstos se sobrecalienten.

Teniendo como resultado un producto que es muy aplicable para el funcionamiento de tales diodos y además que reduce los costos ya que existen diferentes fuentes para realizar este trabajo pero que no son aplicables para distintos diodos láser y las cuales son demasiado caros.

Es por ello que concluimos que aunque este tipo de proyectos no sean muy conocidos tiene la versatilidad de superar a los anteriores que sólo eran aplicados para un tipo de dispositivo.

## RECOMENDACIONES DEL SISTEMA.

Pues bien para el buen funcionamiento del sistema el usuario debe cuidar que el transistor 2N3055 tenga un disipador el cual actuará para que este no se sobrecaliente protegiendo al transistor y al mismo tiempo al sistema completo, el disipador más apropiado para éste transistor se calcula de la siguiente manera:

Si tomamos de un manual los datos correspondientes al transistor mencionado serán:

$P_{d\max} = 115 \text{ W}$   
 $T_{j\max} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

Sustituyendo estos valores en la siguiente ecuación, se obtiene el valor de la  $R_{jc}$ :

$$R_{jc} = \frac{T_{j\max} - 25}{P_{d\max}} = \frac{200 - 25}{115} = 1,52^\circ \text{ C / W}$$

*Ecu.5.*

El resultado de dicha operación nos indica las características del disipador óptimo para éste transistor, mostrado en la figura 4.4.



*Disipador.*

Además que los valores de resistencia ingresado por el usuario no rebase los 20 K $\Omega$  ya que es el rango máximo de trabajo; es decir, si este rango de valor es rebasado el sistema simplemente no realizará el trabajo esperado por el usuario, por que se debe conocer bien las especificaciones del láser que se vaya a emplear para que el sintonizador funcione adecuadamente.

Otro factor que se debe de cuidar es el voltaje que le tiene que llegar al transistor anteriormente mencionado, para que trabaje adecuadamente, cabe mencionar que todo depende de la corriente que se desee en el emisor del transistor donde va a ir conectado el cooler con una resistencia de 10 K $\Omega$ , y además el rango de voltaje que tiene que haber en el colector debe estar entre 11.94 V y 12 V, y el voltaje en la base va a depender de la corriente en el enfriador este voltaje va a estar entre 2.5 V a 11.94 V, si por descuido en el colector se supera los 12 V el sintonizador sencillamente no hará la comparación de voltaje por que se habrá superado su rango de operación del mismo, y simplemente este no controlará nada por que se saturará demasiado rápido y si en la base no le llega el voltaje suficiente el transistor no conmutará y la corriente que necesita el cooler para funcionar no le llegará.

### **TRABAJOS FUTUROS.**

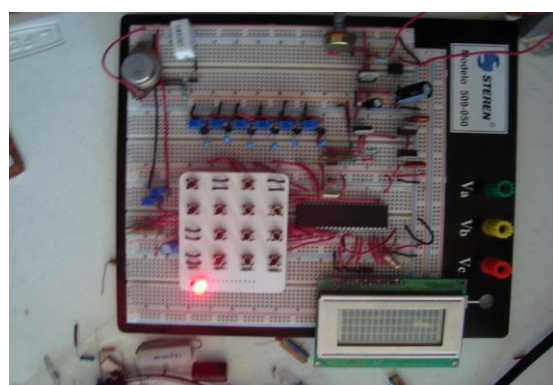
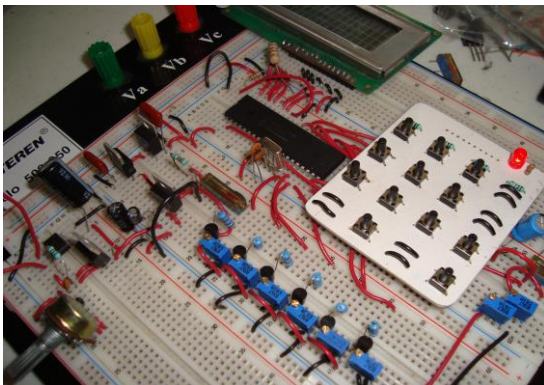
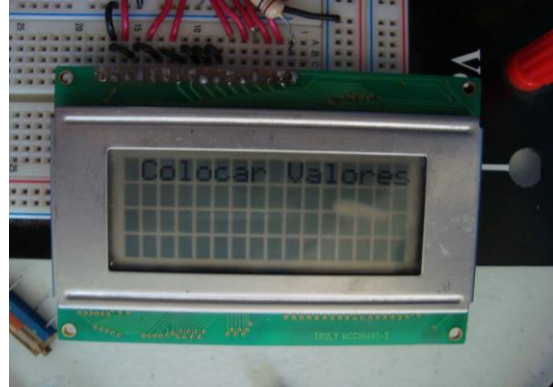
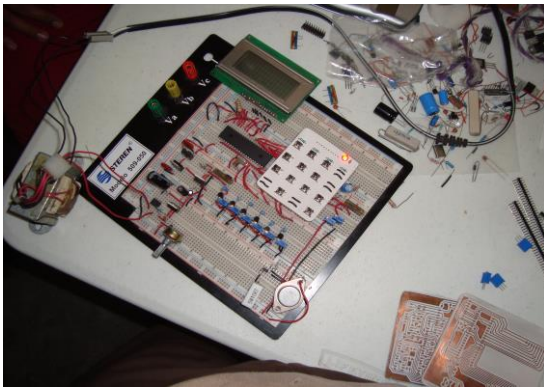
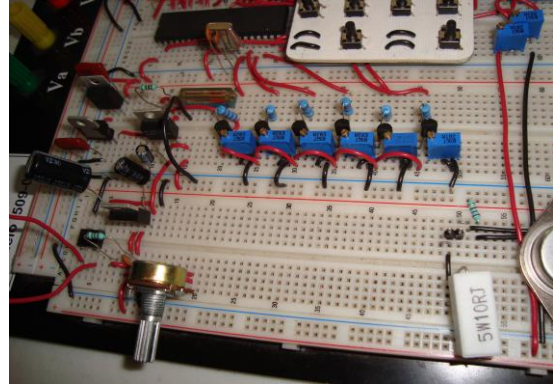
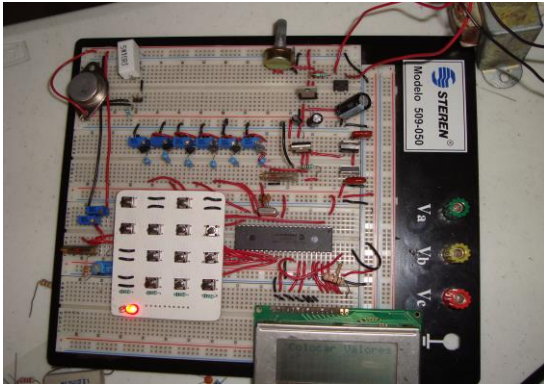
Como las pruebas no pudieron ser realizadas en el tiempo propuesto a este proyecto por falta de los equipos necesarios para analizar cada uno de los factores que se requieren estudiar, el Dr. Jorge Luís Camas Anzueto ha propuesto como trabajos futuros realizar la sintonización del láser implementando el sistema desarrollado, y probar con éste diferentes láseres y corregir los errores que puedan presentarse en sistema.

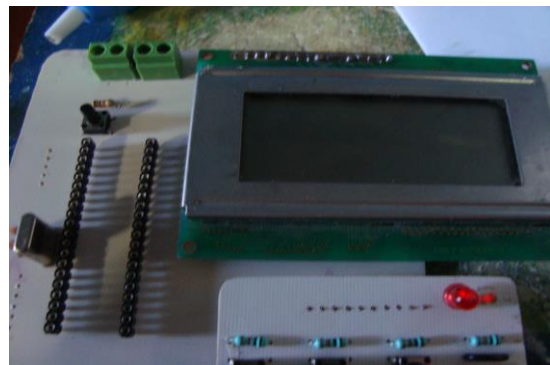
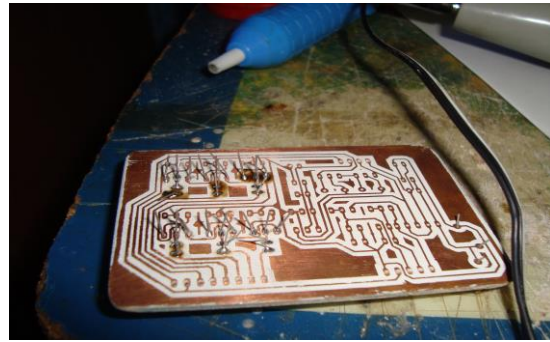
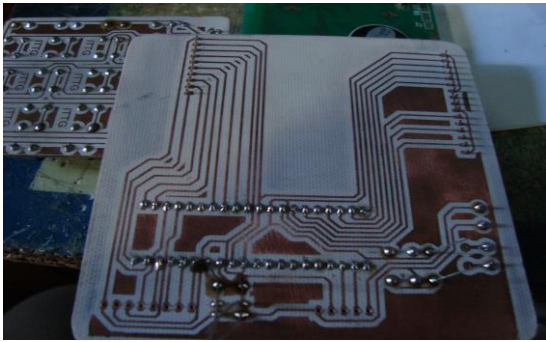
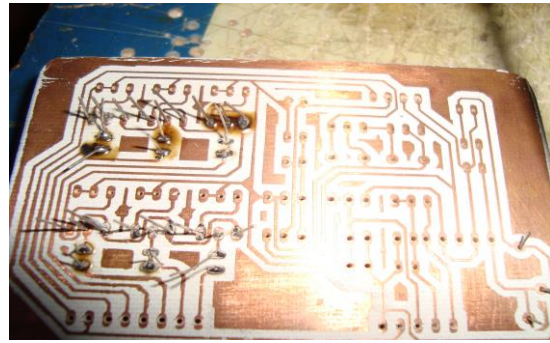
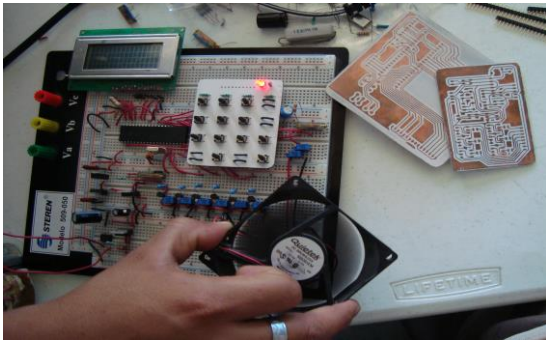
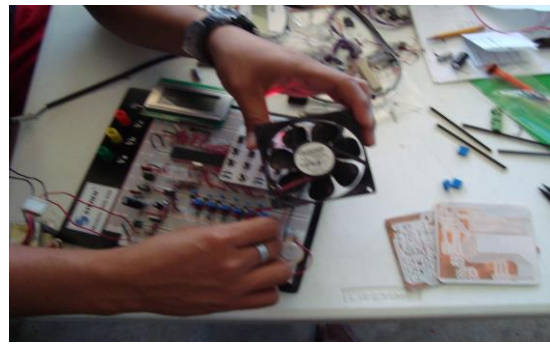
## BIBLIOGRAFÍA.

- [1]. Agrawal, G. P. Nonlinear Fiber Optics. Cap 10, Academic Press, London, 1995.
- [2]. H. H. Cerecedo Nuñez. y M. D. Iturbe Castillo. “Rejillas de Bragg en Núcleo de Fibra Óptica de Vidrio”, Revista Mexicana de Física. 44 (2), (1998), 198.
- [3]. P.M. Cavaleiro. A.B. Lobo. and J.L. Santos. Electronics Letter 31 (1995) 392.
- [4]. A.D. Kersey, E. Journal of Lightwave Technology 15 (1997) 1442.
- [5]. Y.J. Rao et al., electronics Letters 32 (1996) 924.
- [6]. J. M. Kahn, W. J. Krause and J. B. Carruthers, Experimental Characterization of Non-Directed Indoor Infrared Channels, IEEE Transactions on Communications, Vol. 43, No. 2-3-4, pp. 1613-1623, April 1995.
- [7]. <http://www.ifuap.buap.mx/web/eventos/libro.pdf>
- [8]. [http://www.unizar.es/departamentos/fisica\\_aplicada/tads/TAD%20Paco.pdf](http://www.unizar.es/departamentos/fisica_aplicada/tads/TAD%20Paco.pdf)
- [9]. [http://www.thorlabs.com/Navigation.cfm?Guide\\_ID=112&rpLink=1](http://www.thorlabs.com/Navigation.cfm?Guide_ID=112&rpLink=1)
- [10]. <http://www.alegsa.com.ar/Dic/cooler.php>

# ANEXOS

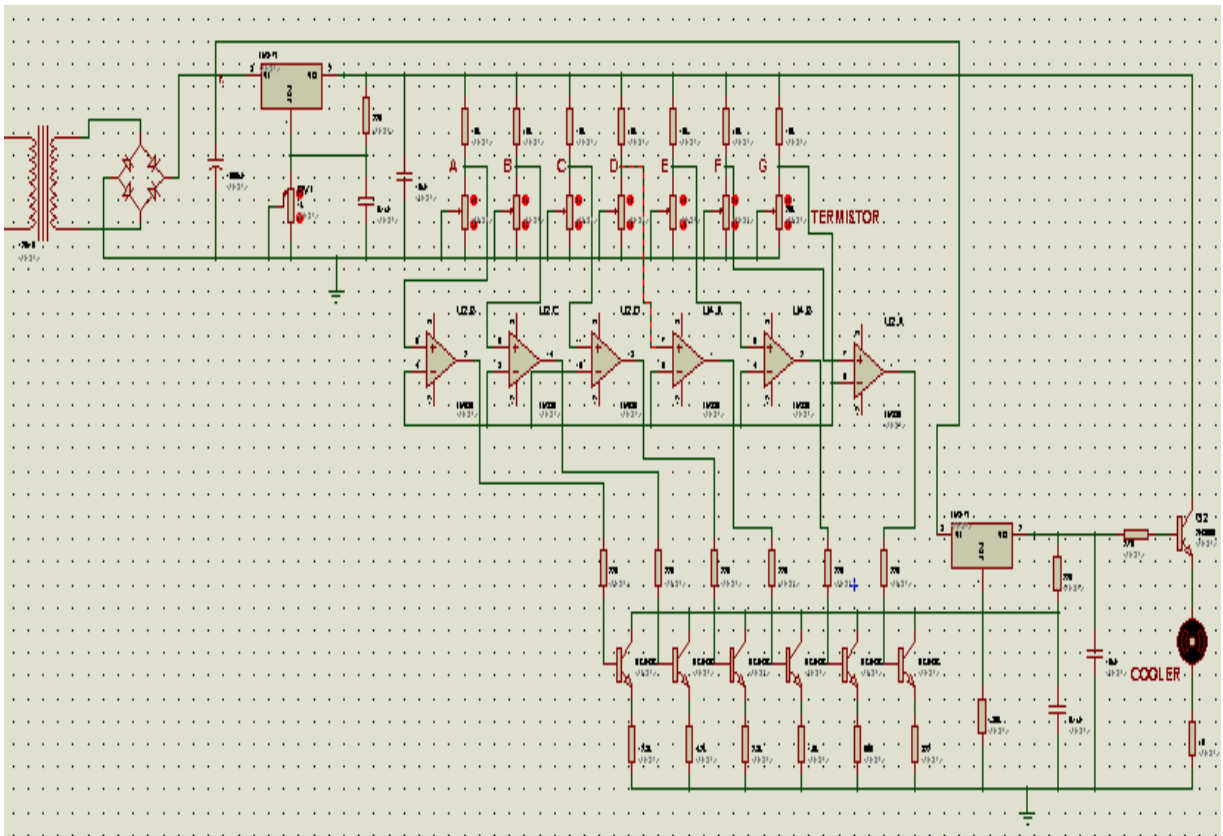
## ANEXO A. IMÁGENES.



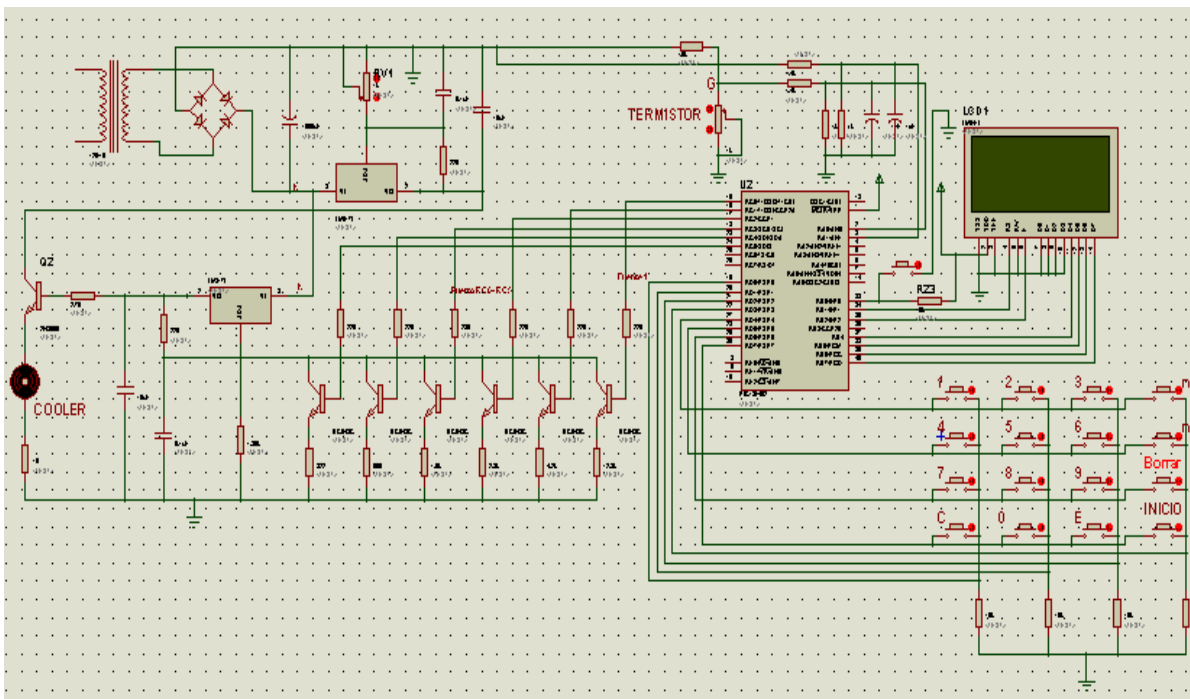




## ANEXO B. ESQUEMA DEL SISTEMA.



Esquema analógico del sintonizador de láser.



Esquema completo del Sintonizador de Láser.

## ANEXO C. CÓDIGO DEL PROGRAMA.

```
//*****//
//*****
//***** Sintonizador del Láser *****//
//***** Semiconductor Aplicado a *****//
//***** Amplificadores Ópticos. *****//
//*****//
//*****//
//-----//
//          VARIABLES
//-----//

float adc_v = 0;          //lectura de VOLTAJE
float adc_v2=0;          //lectura de VOLTAJE EN EL COOLER

unsigned short in0, in1, in3, in4;
float in2, in5, x, x2;
unsigned short kp = 0;    //Tecla Presionada
unsigned short kc = 0;    //Contador de Teclas
int stop = 0;
int cnt = 0;
char valor1[1];
char valor2[1];
char txt[5];
char txt2[5];
float resistor1;
float resistor2;
double delta, menor , mayor ;
unsigned short pos;

//-----//
//          DECLARACION DE RUTINAS
//-----//

void Config (void);
void About (void);
void Voltaje (void);
void voltajecool (void);
void Control (void);
//-----//
//          VECTOR DE INTERRUPCION
//-----//
void interrupt ()
{
    if (INTCON.INT0IF)
    {
        stop = 1;
        INTCON=0xF0;
        INTCON.INT0IF=0;
    }
}
//*****//
//          CUERPO PRIMCIPAL DEL PROGRAMA
//          //
//          //
//*****//
```

```

void main (void)
{
    ADCON1 = 0x82;
    TRISA = 0xFF;
    TRISB = 0x01;
    TRISC = 0;
    PORTC = 0;
    INTCON = 0xD0;
    INTCON.GIE = 0;
    INTCON.INTOIE = 0;
    cnt=0;
    Lcd_Custom_Config(&PORTB,7,6,5,4,&PORTB,1,3,2);
    Keypad_Init(&PORTD);
    About();
    Config();
do{
    Voltaje();
    voltajecool();
    Control();
    if (stop == 1)
        {
            INTCON.GIE = 0;
            Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
            Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
            Lcd_Custom_Out(2, 4, "SISTEMA");
            Lcd_Custom_Out(3, 0, "DETENIDO");
            Delay_ms(500);
            PORTC.F0 = 1;
            Delay_ms(1000);
            PORTC.F0 = 0;
            Config();
        }
    }while (1);
}
//-----//
//          RUTINAS
//-----//
//
//     La rutina CONFIGURACION adquiere los valores ingresados //
// en el teclado, así como también el dan un orden al teclado //
// para tener una apariencia mas familiar. //
//
void Config (void)
{
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    Lcd_Custom_Out(1, 3, "CONFIGURACION");
    Lcd_Custom_Out(2, 8, "DEL");
    Lcd_Custom_Out(3, 1, "SISTEMA");
    Delay_ms(1000);
    Delay_ms(1000);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    Lcd_Custom_Out(2, 5, "INGRESE");
    Lcd_Custom_Out(3, -1, "RESISTENCIAS");
    Delay_ms(1000);
    Delay_ms(1000);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    Lcd_Custom_Out(1, 2, "Colocar Valores");
    Lcd_Custom_Out(2, 2, " ");
}

```

```

kc = 0;
do{
  kp = 0;
  do{
    kp = Keypad_Released();
  }while (!kp);
  if (kp == 16 && kc == 6)//La tecla 16 funciona como el ENTER
  {
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    Lcd_Custom_Out(2, 4, "SISTEMA");
    Lcd_Custom_Out(3, 0, "CONFIGURADO");
    Delay_ms(500);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    Lcd_Custom_Out(2, 4, "SISTEMA");
    Lcd_Custom_Out(3, 0, "INICIADO");
    Delay_ms(500);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    stop = 0;
    INTCON.INT0IE = 1;      // Asignación de banderas para
    INTCON.GIE = 1;        // cumplir la INTERRUPCION
    resistor1=in0+in1+in2; // Suma de los valores adquiridos
    resistor2=in3+in4+in5;
    menor= (12 * resistor1) /(resistor1 + 10);//Rango de
operacion
    mayor= (12 * resistor2) /(resistor2 + 10);
    FloatToStr(menor, valor1);
    Lcd_Custom_Out(2, 4, valor1);
    FloatToStr(mayor, valor2);
    Lcd_Custom_Out(3, 0, valor2);
    kc++;
  }
  if (kp == 12 && kc == 6) //Borrar todos los valores adquiridos
  {
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    Lcd_Custom_Out(1, 2, "Colocar Valores");
    Lcd_Custom_Out(2, 2, " ");
    kc = 0;
  }
  if (kc==3)
  {
    Lcd_Custom_Out(3, -2, " ");
  }
  if (kp<4 && kc==0)
  {
    in0 = kp*10;
    kp += 48;
    Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
    kc++;
  }
  if (kp<4 && kc==1)
  {
    in1 = kp;
    kp += 48;
    Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
    kc++;
  }
  if (kp<4 && kc==2)

```

```

    {
    in2 = kp*0.10;
    kp += 48;
    Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
    Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
    kc++;
    }
if (kp<4 && kc==3)
{
in3 = kp*10;
kp += 48;
Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
kc++;
}
if (kp<4 && kc==4)
{
in4 = kp;
kp += 48;
Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
kc++;
}
if (kp<4 && kc==5)
{
in5 = kp*0.10;
kp += 48;
Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
kc++;
}
if (kp>=5 && kp<8 && kc==0)
{
in0 = (kp - 1 )*10;
kp += 47;
Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
kc++;
}
if (kp>=5 && kp<8 && kc==1)
{
in1 = kp - 1;
kp += 47;
Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
kc++;
}
if (kp>=5 && kp<8 && kc==2)
{
in2 = (kp - 1)*0.10;
kp += 47;
Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
kc++;
}
if (kp>=5 && kp<8 && kc==3)
{
in3 =(kp - 1)*10;
kp += 47;
Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
kc++;
}
if (kp>=5 && kp<8 && kc==4)
{
in4 = kp-1;

```

```

        kp += 47;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp>=5 && kp<8 && kc==5)
    {
        in5 = (kp-1)*0.10;
        kp += 47;
        Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp>=9 && kp<12 && kc==0)
    {
        in0 = (kp-2)*10;
        kp += 46;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp>=9 && kp<12 && kc==1)
    {
        in1 = kp-2;
        kp += 46;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp>=9 && kp<12 && kc==2)
    {
        in2 = (kp-2)*0.10;
        kp += 46;
        Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp>=9 && kp<12 && kc==3)
    {
        in3 = (kp - 2)*10;
        kp += 46;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp>=9 && kp<12 && kc==4)
    {
        in4 = kp-2;
        kp += 46;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp>=9 && kp<12 && kc==5)
    {
        in5 = (kp-2)*0.10;
        kp += 46;
        Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp==14 && kc==0)
    {
        in0 = (kp-14)*10;
        kp += 34;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
    }

```

```

        kc++;
    }
    if (kp==14 && kc==1)
    {
        in1 = kp-14;
        kp += 34;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp==14 && kc==2)
    {
        in2 = (kp-14)*0.10;
        kp += 34;
        Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp==14 && kc==3)
    {
        in3 = (kp-14)*10;
        kp += 34;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp==14 && kc==4)
    {
        in4 = kp-14;
        kp += 34;
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    if (kp==14 && kc==5)
    {
        in5 = (kp-14)*0.10;
        kp += 34;
        Lcd_Custom_Chr_Cp('.');
        Lcd_Custom_Chr_Cp(kp);
        kc++;
    }
    }while(kc < 7);
    Delay_ms(1000);
    return;
}
//-----
void Voltaje (void)
{
    //Lee el valor de voltaje analógico que va de 0 a 12 volts
    //el cual es la tensión existente en el TERMISTOR del COOLER
    adc_v = ADC_read(0);
    LCD_Custom_Out(1,1,"Volts:");
    x=(12 * adc_v)/1023;
    FloatToStr(x, txt);
    Lcd_Custom_Out(1,7,txt);
    Lcd_Custom_Chr_Cp('V');
    return;
}

```

```

//-----
void VoltajeCool (void)
{
  //Lee voltaje que coloca el usuario en el COOLER preferentemente de
  11.94V
  adc_v2 = ADC_read(1);
  LCD_Custom_Out(4,-3,"VCool:");
  x2=(12 * adc_v2)/1023;
  FloatToStr(x2, txt2);
  Lcd_Custom_Out(4,3,txt2);
  Lcd_Custom_Chr_Cp('V');
  return;
}
//-----
void Control (void)
{
  // La rutina CONTROL activa la salida correspondiente dependiendo
  // Del nivel de voltaje leído en la rutina VOLTAJE
  delta = (mayor - menor)/6; //División del intervalo en 6 partes
  if(x >= menor && x <= mayor)
  {
    pos = (x - menor)/delta; //Obtiene la posición
    PORTC = 1 << pos;      // Activa la posición correspondiente
  }
  if (x>mayor) // en caso de exceder el nivel adopta la posición 6
  (ultima)
  {
    PORTC= 32;
  }
  else PORTC=0;
}
//-----
void About (void)
{
  Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
  Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
  Lcd_Custom_Out(2, 4, "BIENVENIDO");
  Delay_ms(1000);
  Delay_ms(1000);
  Lcd_Custom_Cmd(Lcd_Clear);
  Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
  Lcd_Custom_Out(2, 4, "CONTROL DE");
  Lcd_Custom_Out(3, -1, "SISTEMA LASER");
  Delay_ms(1000);
  Delay_ms(1000);
  return;
}

```



## ANEXO D. HOJA DE DATOS DEL PIC18F452.

A continuación mostramos también algunas de las principales especificaciones de microcontrolador PIC18F452.

### REGISTER 8-1: INTCON REGISTER

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF
bit 7							bit 0

- bit 7 **GIE/GIEH:** Global Interrupt Enable bit  
When IPEN = 0:  
 1 = Enables all unmasked interrupts  
 0 = Disables all interrupts  
When IPEN = 1:  
 1 = Enables all high priority interrupts  
 0 = Disables all interrupts
- bit 6 **PEIE/GIEL:** Peripheral Interrupt Enable bit  
When IPEN = 0:  
 1 = Enables all unmasked peripheral interrupts  
 0 = Disables all peripheral interrupts  
When IPEN = 1:  
 1 = Enables all low priority peripheral interrupts  
 0 = Disables all low priority peripheral interrupts
- bit 5 **TMR0IE:** TMR0 Overflow Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the TMR0 overflow interrupt  
 0 = Disables the TMR0 overflow interrupt
- bit 4 **INT0IE:** INT0 External Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the INT0 external interrupt  
 0 = Disables the INT0 external interrupt
- bit 3 **RBIE:** RB Port Change Interrupt Enable bit  
 1 = Enables the RB port change interrupt  
 0 = Disables the RB port change interrupt
- bit 2 **TMR0IF:** TMR0 Overflow Interrupt Flag bit  
 1 = TMR0 register has overflowed (must be cleared in software)  
 0 = TMR0 register did not overflow
- bit 1 **INT0IF:** INT0 External Interrupt Flag bit  
 1 = The INT0 external interrupt occurred (must be cleared in software)  
 0 = The INT0 external interrupt did not occur
- bit 0 **RBIF:** RB Port Change Interrupt Flag bit

**REGISTER 8-2: INTCON2 REGISTER**

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	U-0	R/W-1	U-0	R/W-1
RBPU	INTEDG0	INTEDG1	INTEDG2	—	TMR0IP	—	RBIP
bit 7						bit 0	

- bit 7 **RBPU**: PORTB Pull-up Enable bit  
 1 = All PORTB pull-ups are disabled  
 0 = PORTB pull-ups are enabled by individual port latch values
- bit 6 **INTEDG0**: External Interrupt0 Edge Select bit  
 1 = Interrupt on rising edge  
 0 = Interrupt on falling edge
- bit 5 **INTEDG1**: External Interrupt1 Edge Select bit  
 1 = Interrupt on rising edge  
 0 = Interrupt on falling edge
- bit 4 **INTEDG2**: External Interrupt2 Edge Select bit  
 1 = Interrupt on rising edge  
 0 = Interrupt on falling edge
- bit 3 **Unimplemented**: Read as '0'
- bit 2 **TMR0IP**: TMR0 Overflow Interrupt Priority bit  
 1 = High priority  
 0 = Low priority
- bit 1 **Unimplemented**: Read as '0'
- bit 0 **RBIP**: RB Port Change Interrupt Priority bit  
 1 = High priority  
 0 = Low priority

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

## REGISTER 17-1: ADCON0 REGISTER

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7						bit	

bit 7-6 **ADCS1:ADCS0**: A/D Conversion Clock Select bits (ADCON0 bits in **bold**)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	<b>00</b>	Fosc/2
0	<b>01</b>	Fosc/8
0	<b>10</b>	Fosc/32
0	<b>11</b>	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	<b>00</b>	Fosc/4
1	<b>01</b>	Fosc/16
1	<b>10</b>	Fosc/64
1	<b>11</b>	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5-3 **CHS2:CHS0**: Analog Channel Select bits

000 = channel 0, (AN0)

001 = channel 1, (AN1)

010 = channel 2, (AN2)

011 = channel 3, (AN3)

100 = channel 4, (AN4)

101 = channel 5, (AN5)

110 = channel 6, (AN6)

111 = channel 7, (AN7)

**Note:** The PIC18F2X2 devices do not implement the full 8 A/D channels; the unimplemented selections are reserved. Do not select any unimplemented channel.

bit 2 **GO/DONE**: A/D Conversion Status bit

When ADON = 1:

1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion which is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)

0 = A/D conversion not in progress

bit 1 **Unimplemented**: Read as '0'

bit 0 **ADON**: A/D On bit

## REGISTER 17-2: ADCON1 REGISTER

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

- bit 7 **ADFM**: A/D Result Format Select bit  
 1 = Right justified. Six (6) Most Significant bits of ADRESH are read as '0'.  
 0 = Left justified. Six (6) Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.
- bit 6 **ADCS2**: A/D Conversion Clock Select bit (ADCON1 bits in **bold**)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	Fosc/2
0	01	Fosc/8
0	10	Fosc/32
0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	Fosc/4
1	01	Fosc/16
1	10	Fosc/64
1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

- bit 5-4 **Unimplemented**: Read as '0'
- bit 3-0 **PCFG3:PCFG0**: A/D Port Configuration Control bits

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C / R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8 / 0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7 / 1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5 / 0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4 / 1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3 / 0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2 / 1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0 / 0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6 / 2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6 / 0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5 / 1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4 / 2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3 / 2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2 / 2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1 / 0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1 / 2

A = Analog input D = Digital I/O  
 C/R = # of analog input channels / # of A/D voltage references

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

**Note:** On any device RESET, the port pins that are multiplexed with analog functions (ANx) are forced to be an analog input.