



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

*"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRAMPA DE  
ENFOQUE CRIOGÉNICO PARA CROMATOGRAFÍA DE  
GASES"*

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO-ELECTRICISTA,  
con área de especialización en  
ELECTRÓNICA.**

Presenta:

*JOSUÉ VÁZQUEZ TÉLLEZ*

Director de Tesis:

**ING. WILFRIDO GUTIÉRREZ LÓPEZ.**

**MÉXICO, D.F.**

**2007.**



Dedico este trabajo:



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A la memoria del hombre que me enseñó las cosas importantes de la vida, por su ejemplo, apoyo, paciencia, bondad y amor.

*Marcelino Téllez Valeriano.*

Por ser un ejemplo de superación y por sus enseñanzas, confianza y apoyo incondicional.

*Benjamín Téllez Mendoza.*

Por el gran esfuerzo que has realizado para sacarme adelante, siempre has estado conmigo y tu gran amor; para ti Mamá.

*Raquel Téllez Mendoza.*

**AGRADECIMIENTOS**

Con agradecimiento por su dedicación, tiempo, apoyo y comprensión para que el presente fuese llevado a cabo:

Ing. Wilfrido Gutiérrez López.

Por contribuir con su invaluable experiencia y gran apoyo:

Ing. Manuel García Espinosa

Ing. Jorge Escalante González

Pas. Ing. Miguel Ángel Robles Roldan

Ing. Alfredo Rodríguez Manjarrez

Sr. David Mendoza Chino

Por su asistencia en el funcionamiento del instrumento:

Quím. José Manuel Hernández Solís

Así como al grupo de maestros:

Ing. Miguel Eduardo González Cárdenas

Ing. Francisco José Rodríguez Ramírez

M.C. Ranulfo Rodríguez Sobreya

A todos ellos, muchísimas gracias por todo.

También a todas las personas que estuvieron conmigo incondicionalmente y que fueron un soporte muy importante en mi vida personal y académica, a todas ellas, GRACIAS.

# ÍNDICE

Introducción.....	IX
-------------------	----

## Capítulo 1. Antecedentes.

1.1.0 ¿Qué es atmósfera?.....	1
1.1.1 Contaminación atmosférica.....	3
1.1.2 Aspectos meteorológicos.....	4
1.1.3 Contaminantes gaseosos.....	4
1.2.0 Formas de analizar los contaminantes en la atmósfera.....	5
1.2.1 Técnicas de análisis de contaminantes en la atmósfera.....	8
1.2.2 Cromatografía gaseosa.....	11
1.2.3 Principio de operación de un cromatógrafo de gases.....	12
1.3.0 Trampas de enfoque.....	14

## Capítulo 2. Anteproyecto para el diseño del prototipo.

2.1.0 Principio de operación y características de las trampas de enfoque.....	15
2.1.1 Trampa de enfoque.....	16
2.1.2 Funcionamiento.....	17
2.2.0 Análisis de las trampas de enfoque comerciales.....	18
2.2.1 Anteproyecto de diseño.....	21
2.3.0 Planteamiento del diseño por etapas y características.....	21
2.3.1 Etapa de medición y acoplamiento de señal.....	22
2.3.2 Etapa de programación y visualización de información.....	22
2.3.3 Etapa de control.....	22
2.3.4 Etapa de potencia.....	22
2.3.5 Etapa de alimentación del sistema.....	22
2.3.6 Etapa de diseño de la trampa.....	23

### **Capítulo 3. Diseño y construcción del prototipo.**

3.1.0	Etapa de medición de temperatura y acondicionamiento de señal.....	24
3.1.1	Termistor.....	24
3.1.2	Circuitos integrados (CI) lineales como sensores de temperatura.....	25
3.1.3	Termopares.....	25
3.1.4	Detectores de temperatura resistivos (RTD).....	26
3.1.5	Diseño del circuito de acoplamiento.....	28
3.2.0	Microcontrolador.....	33
3.2.1	Selección del microcontrolador.....	34
3.3.0	Conversión analógico digital.....	36
3.4.0	Etapa de programación y visualización de información.....	38
3.4.1	Teclado.....	38
3.4.2	Display.....	42
3.5.0	Etapa de control.....	47
3.5.1	Tipos de controladores más comunes.....	49
3.5.2	Controlador a utilizar.....	50
3.5.3	Medición del tiempo.....	52
3.6.0	Etapa de potencia.....	53
3.6.1	Circuito de aislamiento.....	53
3.6.2	Triac.....	55
3.7.0	Etapa de alimentación del sistema.....	57
3.8.0	Etapa de diseño de la trampa de enfoque.....	61
3.9.0	El programa en el microcontrolador.....	62

### **Capítulo 4. Funcionamiento del sistema.**

4.1.0	Pruebas de funcionamiento.....	65
4.1.1	Etapa de medición de temperatura y acondicionamiento de señal.....	65
4.1.2	Etapa de programación y visualización de información.....	69
4.1.3	Etapa de control.....	70

4.1.4	Etapa de potencia.....	70
4.1.5	Alimentación del sistema.....	71
4.1.6	Prueba de tiempo.....	72
4.1.7	Funcionamiento del sistema completo.....	73
<b>Capítulo 5. Descripción técnica y mantenimiento.</b>		
5.1.0	Especificación del sistema.....	74
5.2.0	Mantenimiento preventivo.....	75
5.3.0	Mantenimiento correctivo.....	76
5.4.0	Procedimiento para el diagnóstico.....	76
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
	<b>Apéndice A.....</b>	<b>81</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>123</b>

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica ha tomado gran interés en los últimos tiempos a nivel mundial, principalmente por problemas de salud, en México se realizan estos estudios en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, en el área de fisicoquímica atmosférica.

Para analizar los contaminantes se cuenta con varias técnicas, una de las principales es utilizando un cromatógrafo de gases, el cual presenta algunas limitantes en sus análisis por ejemplo los hidrocarburos no se pueden detectar directamente debido a la baja concentración que se presenta en el ambiente (partes por billón y/o partes por trillón), la actual cromatografía de gases no cuenta aún con la capacidad de detección y análisis de niveles suficientemente bajo para estos compuestos.

Para resolver este problema se utiliza una trampa de enfoque que es dispositivo que captura concentraciones de contaminantes en una pequeña muestra, y una vez capturados los deja pasar hacia el cromatógrafo en donde se puede medir mucho mejor y analizar la contaminación del aire.

Actualmente existen trampas de enfoque criogénica en el mercado, lamentablemente su adquisición y mantenimiento resultan ser extremadamente caros, sobre todo para la Universidad debido a que estos sistemas solo se venden en el extranjero y no son, en su mayoría, de fácil adquisición en el país.

Esta problemática motiva al Area de de Instrumentación Meteorológica del Centro de Ciencias de la Atmósfera U.N.A.M. a desarrollar un equipo para el estudio de la contaminación del ambiente que sea de un costo accesible y fácil mantenimiento cumpliendo con las siguientes consideraciones.

1.- La necesidad de crear tecnología acorde a los recursos del país y sus centros de investigación.

2.- Abatir el alto costo, ya que se depende de compañías importadoras o representantes comerciales de éstas, lo que hace difícil la adquisición de equipos.

3.- Facilitar el mantenimiento (correctivo y preventivo) con lo cual se logrará tener una mayor confiabilidad de funcionamiento del sistema y de los datos obtenidos en el sistema.



Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo de esta tesis se centra en el diseño y construcción de una trampa de enfoque criogénica con funcionamiento semejante al de las trampas comerciales,

Estructura de la tesis.

La tesis se divide en cinco capítulos, cada uno de los cuales se cita a continuación con una breve descripción de su contenido.

Justificación del diseño: La necesidad de una trampa de enfoque con características adecuadas para su uso en el área de Físico-Química Atmosférica del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

### **Capítulo 1.** Antecedentes para el diseño.

Se explica que es la atmósfera y como se divide, la contaminación en ella, las formas en que se miden esos contaminantes y técnicas de análisis de los mismos, enfocándose en particular en la cromatografía gaseosa. Se explica que es una trampa de enfoque.

**Capítulo 2.** Principio de operación y características, análisis de las trampas comerciales y planteamiento del diseño por etapas.

En este capítulo, se explica el principio de funcionamiento de una trampa de enfoque, se hace un análisis de las trampas comerciales se plantea un anteproyecto y el diseño por etapas.

**Capítulo 3.** *Diseño de cada una de las etapas.*

A partir de lo definido en el capítulo anterior, en este, se estudian posibilidades para cada etapa seleccionando la mejor, haciendo el diseño de ella en prototipo y aplicando la programación en donde se requiere.

**Capítulo 4.** Pruebas de funcionamiento y calibración.

Es en este capítulo donde se describen las pruebas de funcionamiento que se hicieron a cada etapa, y se realizó la calibración del circuito.

**Capítulo 5.** Especificaciones técnicas y mantenimiento del sistema.

Las especificaciones del circuito se explican en este capítulo así como la metodología a seguir para el mantenimiento preventivo y correctivo.

**Conclusiones.**

**Bibliografía.**

# CAPÍTULO 1

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1.0 ¿QUÉ ES LA ATMÓSFERA?

La palabra atmósfera se desglosa en dos partes, *atmos*, que en griego significa vapor, aire y la palabra *sfera* que significa esfera. Es decir, es la envoltura gaseosa que cubre a una esfera o un planeta. La atmósfera de la tierra, está compuesta de la siguiente manera: (Figura 1.1)

Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.08% en volumen
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.95% en volumen
Argón	Ar	0.93% en volumen
anhídrido carbónico	CO <sub>2</sub>	~0.03% en volumen
Gases varios (ozono)	----	~0.01 en volumen

Figura 1.1. Principales compuestos de la atmósfera.

El vapor de agua puede llegar a ser el 4% de la atmósfera cerca de la superficie del planeta y por encima de los 15 Km. solo se encuentra en cantidades muy pequeñas. A pesar de estar presente en cantidades tan bajas, estos gases tienen una participación muy importante en el comportamiento del clima y el desarrollo de los procesos atmosféricos, debido a su participación física y química, que regulan el estado de la atmósfera.

La atmósfera terrestre se encuentra clasificada en cinco capas a partir de la superficie terrestre de la siguiente manera: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termósfera y Exósfera. (Figura 1.2)

Estas capas presentan distintas características y comportamientos que se explican a continuación:

Atmósfera

**Exosfera:** Es el límite de la atmósfera con el espacio exterior y se localiza a partir de los 500 Km. de altitud formada principalmente por helio e hidrógeno.

**Termósfera:** Los gases que la conforman, como ocurre con el oxígeno atmosférico, se encuentra en su estado atómico (O), por efecto de la radiación solar no atenuada que incluye rayos X y partículas energéticas, como protones y electrones. Es por ello que llegan a ionizarse, formando la ionosfera o capa ionizada que rodea al planeta.

**Mesosfera:** Es la capa media de la atmósfera y se caracteriza porque la temperatura disminuye con la altitud hasta  $-110^{\circ}\text{C}$ . Se localiza entre los 50 y 180 Km. de altitud. Aquí la actividad química es importante debido a la mayor intensidad de la radiación solar, que alcanza esta capa atmosférica atenuada solo levemente por la presencia de la capa superior.

**Estratosfera:** Esta se caracteriza por estar formada de estratos de los que recibe su nombre. La temperatura aumenta con la altitud debido a que los rayos ultravioleta transforman las moléculas de oxígeno en ozono el cual a su vez los absorbe, calentándose e impidiendo que tales rayos pasen de la superficie terrestre.

**Troposfera:** Es la capa inferior de la atmósfera de la Tierra, a medida que se sube; disminuye la temperatura. En esta capa suceden los fenómenos que componen el tiempo.

La Troposfera es la capa que se encuentra en contacto con la superficie terrestre y es la más importante para la meteorología, ya que en ella se producen los fenómenos físicos y químicos como nubes, lluvias, vientos y huracanes, que hacen posible la vida en nuestro planeta. Esta contiene las  $\frac{3}{4}$  partes del aire, su temperatura disminuye con la altitud. Su espesor es de 8 Km. en los polos y de 18 Km. en el ecuador aproximadamente.

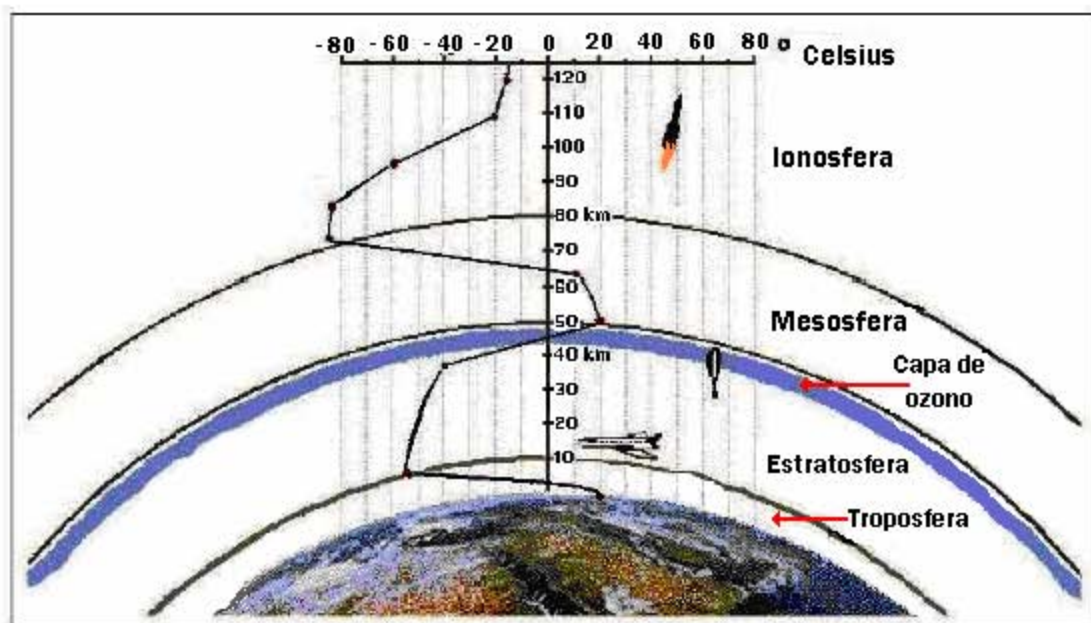


Figura 1.2. Capas de la atmósfera terrestre

### 1.1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Cualquier sustancia añadida a la atmósfera que produzca un efecto apreciable sobre las personas o al medio puede ser clasificada como contaminante, así mismo, las partículas en suspensión o las especies radioactivas producidas en los ensayos nucleares son también incluidas

Desde el descubrimiento del fuego el hombre ha contaminado la atmósfera con gases perniciosos y polvo. Cuando se empezó a utilizar el carbón como combustible en el siglo XIX comenzó este problema a ser una preocupación general. El aumento de consumo de los combustibles en la industria, por las grandes concentraciones humanas en las áreas urbanas y con la aparición del motor de explosión, ha empeorado año tras año, debemos tener en cuenta que la principal causa de contaminación atmosférica es producida por los motores de gasolina.

La atmósfera es un sujeto activo de la contaminación y todos los fenómenos meteorológicos juegan un papel importante en su evolución y, por lo tanto, algunos aspectos relacionados con estos fenómenos deben tenerse en cuenta.

### **1.1.2 ASPECTOS METEOROLÓGICOS.**

El viento, la humedad, la inversión y las precipitaciones tienen un papel importante en el aumento o disminución de la contaminación.

El viento generalmente favorece la difusión de los contaminantes ya que desplaza las masas de aire en función de la presión y la temperatura. El efecto que puede causar el viento depende de los accidentes del terreno o incluso de la configuración de los edificios de las zonas urbanizadas.

Al contrario del viento, la humedad juega un papel negativo en la evolución de los contaminantes ya que favorece la acumulación de humos y polvo.

Por otra parte, el vapor de agua puede reaccionar con ciertos aniones<sup>1</sup> aumentando la agresividad de los mismos, por ejemplo el trióxido de azufre en presencia de vapor de agua se transforma en ácido sulfúrico, lo mismo ocurre con los cloruros y los fluoruros para dar ácido clorhídrico respectivamente.

### **1.1.3 CONTAMINANTES GASEOSOS**

Los contaminantes gaseosos son sin duda los que han merecido un estudio en profundidad. Estos se pueden clasificar como derivados de sus elementos más característicos, como ejemplo tenemos compuestos del carbono, azufre, nitrógeno etc. Algunos de estos gases se muestran en la tabla de la figura 1.3.

---

<sup>1</sup> Se llama aniones a las especies químicas cargadas negativamente.

Gases	Aire limpio parte por millón ( ppm)	Aire contaminado parte por millón ( ppm)
Bióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	320	400
Oxido de carbono (CO)	0.1	40 / 70
Metano (CH <sub>4</sub> )	1.5	2.5
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	0.25	?
Todos los óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	0.001	0.2
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.02	0.5
Bióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.0002	0.2
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	0.01	0.02

Figura 1.3. Gases que se liberan en la atmósfera clasificados como contaminantes.

El ozono y el vapor de agua, ambos considerados gases de invernadero, por absorber la radiación infrarroja terrestre, son particularmente importantes para definir el clima terrestre y mantener las condiciones ambientales que permiten la vida en la tierra. Ello es debido, particularmente, por el papel que juegan sus respectivas distribuciones verticales y su variabilidad geográfica y temporal.<sup>a</sup>

a [La contaminación atmosférica en México sus causas y efectos en la salud, ca.1991]

## 1.2.0 FORMAS DE ANALIZAR LOS CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA.

Forma	Descripción
<b>Monitoreo continuo.</b>	Son constantes o de lectura directa por que combinan el muestreo y el análisis en una sola etapa.
<b>Monitoreo Integrado.</b>	Son integrados o de muestreo al azar por que requieren complementarse con métodos analíticos separados.
<b>Monitoreo de partículas suspendidas totales.</b>	Se succiona la corriente de aire del ambiente y se dispone de tal forma que partículas menores a 100 µm de diámetro se atrapan en un filtro de fibra de vidrio que retiene partículas de hasta 0.1 µm.

<b>Forma</b>	<b>Descripción</b>
Fracciones de partículas suspendidas totales.	<p>Se succiona el aire a través de cinco platos colectores de partículas con discos de aluminio, y una etapa final que retiene estas en una membrana de fibra de vidrio, dependiendo del tamaño que se impactan en los discos o en la membrana.</p> <p>Se requiere conocer la distribución del tamaño de las partículas ya que la parte respirable (0-15 <math>\mu\text{m}</math> de diámetro) puede tener efectos directos en la salud.</p>
Partículas suspendidas menores a 10 micras $\text{PM}_{10}$ .	<p>El termino <math>\text{PM}_{10}</math> es un indicador de contaminación atmosférica y representa las partículas cuyo diámetro es menor o igual a 10 micras.</p> <p>Se realiza mediante un muestreo de altos volúmenes (mismo de la forma anterior) adaptado con una forma de entrada que permite seleccionar las partículas por su tamaño.</p>
<b>Método de referencia para la determinación de bióxido de azufre (<math>\text{SO}_2</math>)(Método de la pararosanilina)</b>	<p>El bióxido de azufre en la muestra es absorbido en una solución de tetracloromercurato de potasio usando un burbujeador. Se forma el complejo dicloro-sulfitomercurato, que resiste la oxidación del oxígeno del aire. El complejo se hace reaccionar con pararosanilina de color rosa intenso. La absorbencia de la solución es medida espectrofotométricamente. El método es aplicable a la medición de <math>\text{SO}_2</math> en el aire ambiental.</p>
Método de referencia para la determinación de oxidantes fotoquímicos.	<p>El aire del ambiente es introducido simultáneamente con etileno a una cámara de mezclado donde el ozono presente en el aire reaccionado tiene una reacción de quimiluminiscencia con la formación de un complejo excitado que emite luz, que se detecta por medio de un tubo fotomultiplicador. La emisión detectada como una corriente electrónica es aplicada y leída directamente en un dispositivo de carátula, o bien en un graficador.</p>

Método de referencia para la determinación de NO <sub>2</sub> . (Bióxido de Nitrógeno)”	El método se basa en la reacción de quimiluminiscencia del óxido nítrico (NO) y ozono (O <sub>3</sub> ) en la cual se genera energía. El NO <sub>2</sub> es medido indirectamente reduciéndolo previamente a monóxido de nitrógeno (NO), Esta reducción se logra por el uso de un convertidor, mientras que la concentración de NO <sub>2</sub> se calcula mediante un proceso electrónico.
Método de referencia para la determinación de monóxido de carbono.(CO)	Consiste en dos celdas paralelas, las cuales cuentan con una fuente de radiación infrarroja. El haz de luz es cortado en ambas celdas por un sistema mecánico rotatorio. Una de las celdas contiene un gas de referencia que no absorbe la energía infrarroja (N <sub>2</sub> ), la otra muestra recibe continuamente muestras de aire ambiente conteniendo CO. El monóxido de carbono en esta celda absorbe una porción de la energía infrarroja emitida por la fuente generadora, de tal forma que al llegar el haz al detector existe una diferencial de energía entre la cantidad de energía de la celda con N <sub>2</sub> y la celda con CO. En el detector se tiene un sistema tal que permite medir esta diferencia por efecto de la llegada por impulsos de ambos haces (el haz original es cortado continuamente por un interruptor rotatorio). La disminución de la energía de radiación en una de las celdas del detector trae como consecuencia una reducción de temperatura y presión en su interior ocasionando un desbalance en un diafragma colocado dentro del detector. El desplazamiento en pulsos del diafragma es detectado electrónicamente y amplificado en una señal que es traducida en un graficador. La señal es proporcional a la cantidad de CO presente en la muestra ambiental.
Método de referencia para la determinación de hidrocarburos.	Volúmenes medidos de aire son enviados semicontinualmente (4 a 12 veces por hora) en un detector de ionización de flama de hidrógeno para medir su contenido de hidrocarburos totales (HCT). Una alícuota <sup>2</sup> de la misma muestra de aire es introducida en una

<sup>2</sup> Parte proporcional. Que está comprendido un número de veces en un todo, por ejemplo, una parte alícuota de ocho es dos.



	<p>columna separadora la cual remueve, agua, bióxido de carbono e hidrocarburos no metano. El metano y el bióxido de carbono son pasados cuantitativamente a una columna de cromatografía de gases donde son separados. El metano es arrastrado primero, y es pasado sin alteración a través de un tubo de reducción catalítica dentro del detector de ionización de flama. El monóxido de carbono es arrastrado del tubo de reducción catalítica en donde es reducido a metano antes de pasar a través del detector. Entre cada análisis la columna separadora es sometida a contra-flujo para prepararla en análisis subsecuentes. La concentración de hidrocarburos corregidos por metano es determinada por la substracción del metano a los hidrocarburos totales.<sup>b</sup></p>
--	---

b [Hobart H. Willard, 1999]

### 1.2.1 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA.

<b>Técnica</b>	<b>Descripción</b>
Espectrometría de quimiluminiscencia.	<p>La quimiluminiscencia se produce cuando una reacción química genera una especie excitada electrónicamente, la cual emite luz al volver a un estado de menor energía. La molécula excitada puede ser el producto de la reacción entre la sustancia analizable (analito<sup>3</sup>) y un reactivo apropiado, por ejemplo, ozono o peróxido de hidrógeno. En otros casos la sustancia analizable no esta directamente involucrada en la reacción quimilumínica; en cambio es el efecto inhibitor de la sustancia analizable lo que sirve como parámetro analítico.</p> <p>Los contaminantes atmosféricos como el ozono, óxidos de nitrógeno y compuestos de azufre pueden ser determinados por métodos de quimiluminiscencia.</p>

<sup>3</sup> Concentración de la sustancia analizable. Compuesto químico caracterizado y cuantificado en una muestra.

Espectrometría de emisiones	La muestra debe ser convertida a átomos libres, comúnmente en una fuente de excitación de altas temperaturas, por ejemplo, una llama. Las muestras líquidas son nebulizadas y llevadas a la llama por el flujo de gas. La fuente de excitación debe disolver, atomizar y excitar los átomos de la sustancia a analizar. La llama provee energía suficiente para enviar los átomos a niveles de energía altos. A medida que los átomos vuelven al estado estable, la radiación emitida pasa a través del monocromador que aísla la longitud de onda especificada para el análisis requerido. Un fotodetector mide la fuerza de la radiación seleccionada la cual es luego amplificada y enviada a un dispositivo de lectura.
Espectrometría de fluorescencia.	La fluorescencia atómica es la emisión óptica de átomos en la fase de gas que han sido excitados a más altos niveles de energía por absorción de radiación electromagnética. La espectroscopia de fluorescencia atómica (AFS) es una técnica de elementos múltiples utilizada para el análisis de trazas de metales en agua de mar, sustancias biológicas y muestras agrícolas. Su mayor sensibilidad es al zinc, mercurio y selenio.
Espectrometría infrarroja (Espectrometría IR)	Esta técnica es la medición de la longitud de onda e intensidad de la absorción de la luz media infrarroja de una muestra. Esta tiene la energía suficiente para excitar vibraciones moleculares a nivel de energía más altos. La longitud de onda de las bandas de absorción IR es típica de específicos enlaces químicos y la mayor utilidad de esta técnica se encuentra en la identificación de moléculas orgánicas y organometálicas. La alta selectividad del método hace posible la estimación de un analito <sup>4</sup> en una matriz compleja. Este método implica el análisis de los movimientos de torsión, rotatorios y de vibración de los átomos en una molécula.  Existen cuatro tipos de instrumentos para mediciones de absorción infrarroja:

<sup>4</sup> Un analito es el componente (elemento, compuesto o ión) de interés analítico de una muestra.

	<p>1.- Espectrofotómetros dispersivos para mediciones cualitativas,</p> <p>2.-Instrumentos de transformadas de Fourier para mediciones cualitativas y cuantitativas,</p> <p>3.- Fotómetros no dispersivos para determinación cuantitativa de especies orgánicas en la atmósfera</p> <p>4.- Fotómetros de reflectancia para análisis de sólidos.</p>
Espectrometría de masas.	<p>La espectrometría de masas (MS) utiliza el movimiento de los iones de campos eléctricos y magnéticos para clasificarlos de acuerdo a su relación masa-carga. De esta manera es una técnica analítica por medio de la cual las sustancias químicas se identifican separando los iones gaseosos en campos eléctricos y magnéticos. Los instrumentos usados en estos estudios se llaman espectrómetros de masas bajo el principio que los iones pueden ser desviados a campos eléctricos y magnéticos. La MS brinda información cualitativa y cuantitativa acerca de la composición atómica y molecular de materiales inorgánicos y orgánicos</p>
Espectrometría de absorción atómica	<p>La absorción de la luz por medio de átomos brinda una herramienta analítica poderosa para los análisis cuantitativos. La espectroscopía de absorción atómica (AAS) se basa en el principio que los átomos libres en estado fundamental pueden absorber la luz a una cierta longitud de onda únicas. AAS es una técnica analítica aplicable al análisis de trazas de elementos metálicos, muestras biológicas, metalúrgicas, farmacéuticas, aguas, alimentos y de medio ambiente.</p>
Resonancia magnética nuclear. (NMR)	<p>El principio de NMR se basa en que los núcleos con número impar de protones, neutrones o ambos tendrán un spin<sup>5</sup> nuclear intrínseco. Cuando un núcleo con un spin nuclear distinto de cero es ubicado en el campo magnético, se puede alinear en la misma dirección o en dirección opuesta al campo. Estas dos alineaciones tienen diferentes energías y la aplicación de un campo magnético produce la degeneración de los spins nucleares. Un núcleo que posee su spin</p>

<sup>5</sup> Número cuántico que indica el giro del electrón u otra partícula atómica en torno a su eje.

	<p>alineado con el campo tendrá una energía más baja que cuando se encuentra en dirección opuesta al campo.</p> <p>La espectroscopia NMR es una de las herramientas más poderosas para revelar la estructura de especies orgánicas e inorgánicas. También se ha comprobado que es útil para la determinación cuantitativa de especies de absorción.</p>
Cromatografía.	Técnica de análisis químico utilizada para separar sustancias puras de mezclas complejas. Esta técnica depende del principio de adsorción <sup>6</sup> selectiva (no confundir con absorción). <sup>c</sup>

c [Howard A. Strobel, ca.1997]

### 1.2.2 CROMATOGRAFÍA GASEOSA.

La cromatografía es una técnica para separar las sustancias químicas que se basa en las diferencias en conductas partitivas de una fase móvil y una de fase estacionaria para separar los componentes en la mezcla.

La muestra es transportada por una corriente de gas a través de una columna empacada con un sólido o recubierta con una película de un líquido. Debido a su simplicidad, sensibilidad y efectividad para separar los componentes de mezclas, la cromatografía de gas es una de las herramientas más importantes. Es ampliamente usada para análisis cuantitativos y cualitativos de mezclas, para la purificación de compuestos y para la determinación de constantes termoquímicas tales como calores de solución y vaporización, presión de vapor y coeficientes de actividad. También es usada para monitorear los procesos industriales en forma automática: Se analizan las corrientes de gas periódicamente y se realizan reacciones en forma manual o automática para contrarrestar variaciones no deseadas.

Se realizan muchos análisis de rutina rápidamente en el campo medicinal entre otros. Por ejemplo, por medio del uso de solamente 0.1 centímetro cúbico (0.003 onzas) de sangre, es posible determinar los porcentajes de oxígeno disuelto, nitrógeno, bióxido de carbono y monóxido de carbono. La cromatografía de gas es útil para el análisis de contaminantes del aire, alcohol en la sangre, aceites esenciales y productos alimenticios.

<sup>6</sup> Consiste en atraer y retener sobre la superficie de un material, moléculas o iones.

### 1.2.3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN CROMATÓGRAFO DE GASES.

El método consiste primeramente, en la introducción de la mezcla de prueba o muestra en una corriente de gas inerte, comúnmente helio o argón que actuarán como gas portador. Las muestras líquidas se vaporizan antes de la inyección en el gas portador. El flujo de gas pasa por la columna empacada a través de la cual los componentes de la muestra se mueven a velocidades influenciadas por el grado de interacción de cada componente con la fase estacionaria no volátil. Las sustancias que tienen la mayor interacción con la fase estacionaria son demoradas a mayor grado por lo tanto separadas de aquellas de menor interacción. A medida que las sustancias son eluidas a la salida de la columna pueden ser cuantificadas por un detector y/o tomadas para otro análisis. Figura 1.4.

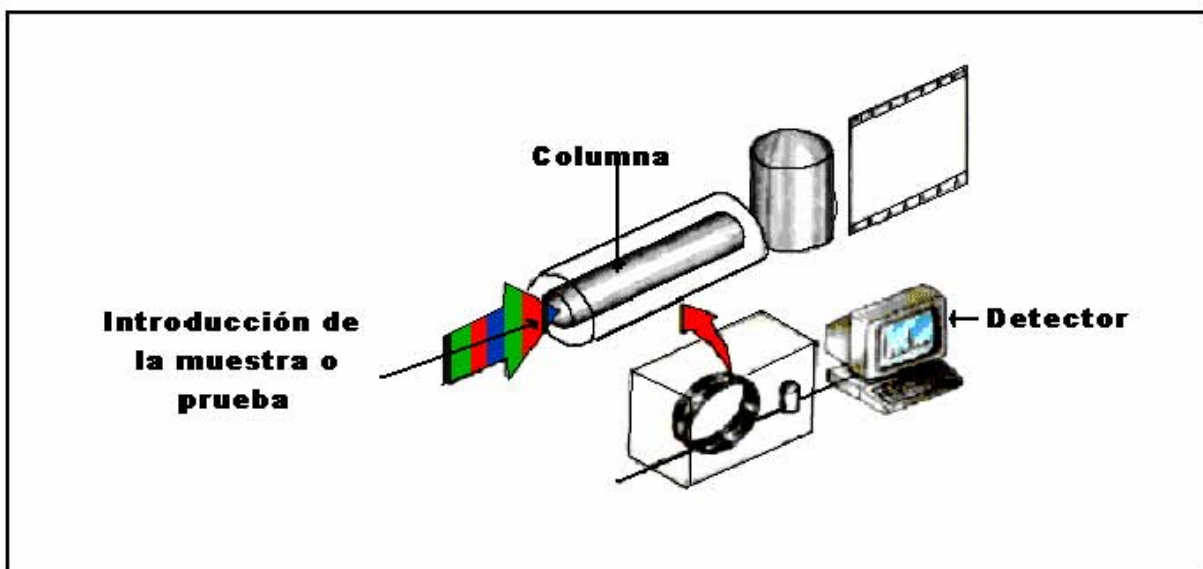


Figura 1.4. Principio de operación de un cromatógrafo de gases.

La elección del gas portador depende del tipo de detector que se utiliza y los componentes a determinar. Los gases portadores para cromatógrafos deben ser de alta pureza y químicamente inertes, por ejemplo, helio (He), Argón (Ar), Nitrógeno (N<sub>2</sub>), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>). El sistema de gas portador puede conectar un filtro molecular para la remoción de agua y otras impurezas.

Las muestras gaseosas y líquidas pueden inyectarse con una jeringa. En la forma más simple la muestra primero se inyecta en una cámara calentada donde se evapora antes de transferirse a la columna. Cuando se utilizan las columnas empacadas, la primer parte de esta a menudo sirve como cámara de inyección, calentada separadamente a una temperatura adecuada. Para columnas capilares se utiliza una cámara de inyección separada desde donde solamente una pequeña parte de la muestra vaporizada/gaseosa es transferida a la columna, este método es conocido como raja-inyección (split-injection). Esto es necesario para no sobrecargar la columna con volumen de muestra.

Cuando se hallan trazas<sup>7</sup> de la muestra, la inyección en columna (on-column-injection) puede usarse para Cromatógrafo de Gases capilar. La muestra líquida es inyectada directamente en la columna con una jeringa. Se deja entonces que el disolvente se evapore para producir la concentración de los componentes de la muestra. Si la muestra es gaseosa la concentración se efectúa por medio del método criogénico. Los componentes de la muestra se concentran y separan de la matriz por condensación en una cámara de enfriamiento antes de la separación cromatográfica. (Figura 1.5.)

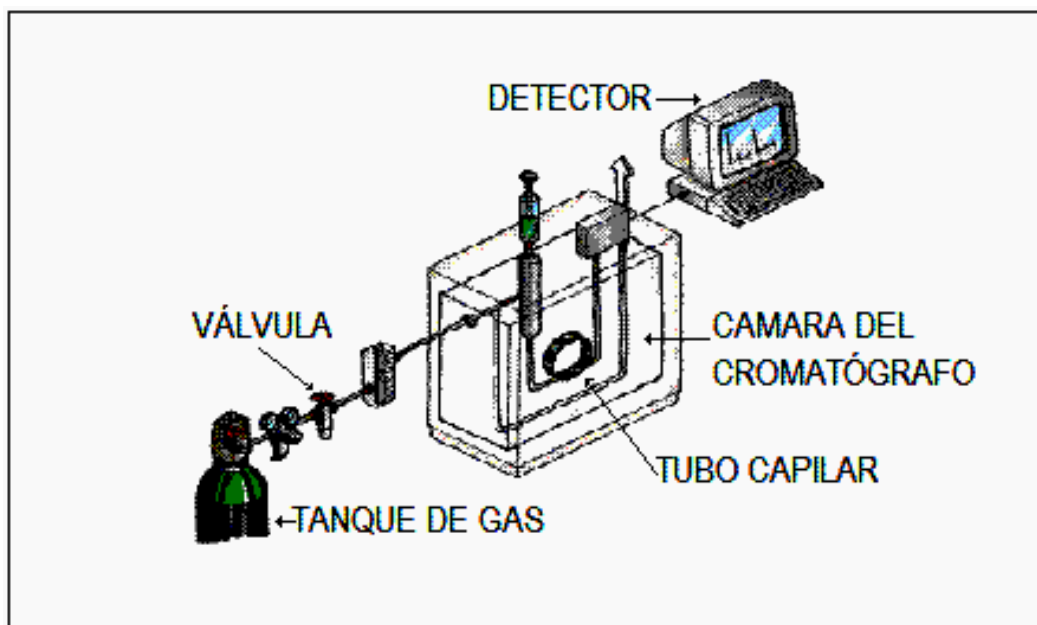


Figura 1.5. Cromatógrafo de gases capilar.

<sup>7</sup> Traza: Cantidad minúscula de una sustancia en una mezcla.

### 1.3.0 TRAMPAS DE ENFOQUE.

Las trampas de enfoque criogénico fueron creadas como un accesorio de trabajo indispensable, debido, a que para la realización de diversos análisis de contaminantes se tiene que enfriar todo el horno del cromatógrafo (una cámara de 20x20x20 cm aproximadamente dependiendo del modelo a utilizar) a temperaturas criogénicas las cuales oscilan entre -20 a -50 grados centígrados lo cual toma aproximadamente 1 hora en llegar a esas temperaturas partiendo de la temperatura ambiente teniendo un gasto excesivo de gas criogénico lo cual se ve reflejado en un mayor costo por cada análisis realizado.

La trampa de enfoque (cryo-trap) es un equipo que se coloca en el puerto de inyección dentro del horno del cromatógrafo de gases (Figura 1.6) y por sus características es más fácil, rápido y eficiente el enfriamiento utilizando hasta un 90% menos del gas criogénico en promedio (bióxido de carbono o nitrógeno).

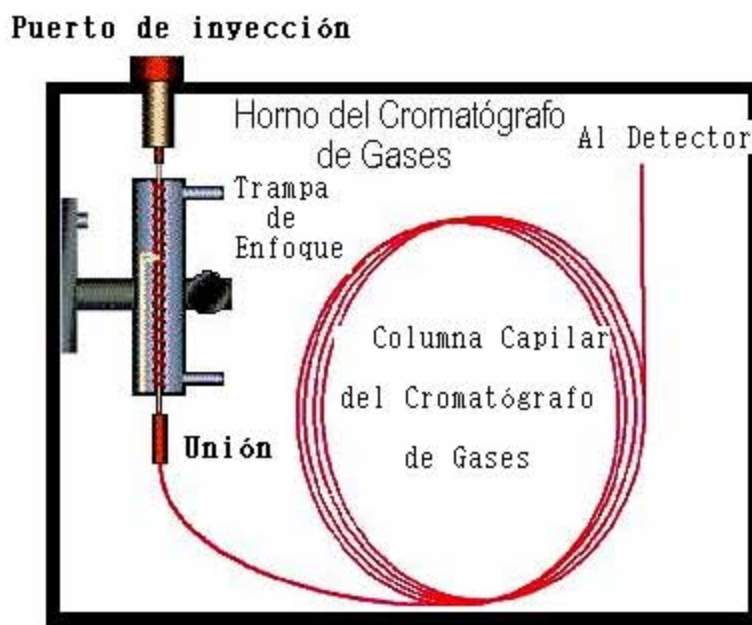


Figura 1.6. Trampa de enfoque conectada al puerto de inyección y a la columna capilar.

## CAPÍTULO 2

### **2. ANTEPROYECTO PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO.**

El presente capítulo hace un análisis del anteproyecto a desarrollar del diseño así como de las trampas de enfoque comerciales y las características que ofrecen. Con estos datos se definirán las características técnicas, físicas y un prototipo de la trampa de enfoque.

#### **2.1.0 PRINCIPIO DE OPERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS TRAMPAS DE ENFOQUE.**

Una trampa de enfoque para cromatógrafo de gases, es un dispositivo que se utiliza para capturar concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC por sus siglas en ingles). Estos VOC son esenciales para la formación de contaminantes secundarios como el ozono y las partículas finas. Debido a las características tóxicas o cancerígenas que varios de ellos poseen pueden representar un peligro potencial a la salud. Por estos motivos es necesario conocer tanto las especies químicas de los VOC como las fuentes que las originan con el propósito de utilizar esta información en el diseño de programas para controlar la contaminación ambiental.

Actualmente existen diferentes tipos de trampas de enfoque en el mercado, lamentablemente su adquisición y mantenimiento resultan ser costosos, sobre todo para las instituciones de investigación como la UNAM, además de no contar con mantenimiento especializado y partes de repuesto en el mercado nacional.

Esta problemática, detectada en el departamento de fisicoquímica atmosférica, motiva al área instrumentación meteorológica del Centro de Ciencias de la Atmósfera, a desarrollar una trampa de enfoque con recursos humanos y económicos de acorde a las facilidades del país.



Tomando en cuenta todo lo anterior, el objetivo de este trabajo se centra en el diseño y construcción de una trampa de enfoque, con un costo moderado, que sea de fácil mantenimiento y equiparable en características de funcionamiento y eficiencia con las trampas comerciales.

### 2.1.1 TRAMPA DE ENFOQUE.

Este dispositivo consiste en una cámara de enfriado que se coloca en el puerto de inyección. El gas criogénico (nitrógeno ó bióxido de carbono) se libera en la parte superior, tiene su salida en la parte inferior. Y en el centro de la cámara está un tubo capilar de acero inoxidable a través del cual pasa libremente la columna capilar. Alrededor del tubo capilar de acero inoxidable se coloca una resistencia eléctrica para proporcionar un calentamiento.

Un transductor de temperatura insertado en el cuerpo de la trampa proporciona la lectura exacta de enfriado y calentado (ver figura 2.1). El circuito electrónico es la parte más importante de la trampa de enfoque, ya que en esta se programan las temperaturas a las que se quiere llegar tanto para enfriar como calentar y los tiempos de funcionamiento con los que se van a trabajar para realizar la captura de los gases a analizar.

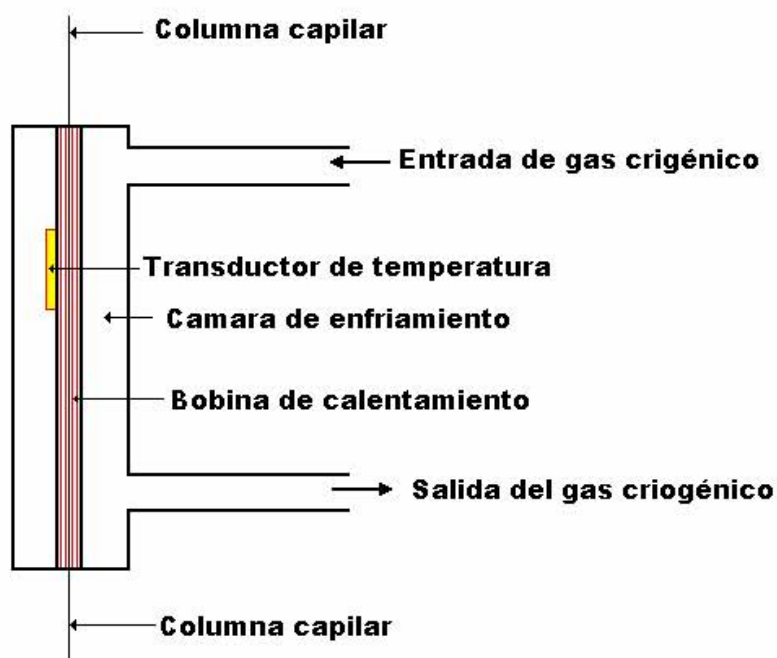


Figura 2.1.Trampa de enfoque

### 2.1.2 FUNCIONAMIENTO.

Actualmente para trabajar y capturar VOC se enfría todo el horno del cromatógrafo lo cual toma entre quince a veinte minutos llegar a  $-10^{\circ}\text{C}$  y se calienta a  $200^{\circ}\text{C}$ . Todo el proceso lleva de hora y media a dos horas.

Para alcanzar las temperaturas bajas se sirve de fluidos criogénicos costosos, como son: Nitrógeno Líquido ( $\text{LN}_2$ ), Bióxido de Carbono Líquido ( $\text{CO}_2$ ) u Oxígeno (O).

La temperatura criogénica se utiliza normalmente para enfocar (atrapar) los VOC en la trampa: el enfoque no es más que estrechar el pulso o banda de inyección que entrega un método de muestreo a una columna cromatográfica capilar, se sirve de dos fenómenos químicos simples: la absorción y la adsorción, la absorción se lleva a cabo en una fase química absorbente y la adsorción se logra por una simple condensación criogénica en un material inerte (acero o vidrio). La temperatura criogénica depende de los compuestos a ser analizados.

Con la Trampa de Enfoque se elimina la necesidad de enfriar y calentar el horno por completo del Cromatógrafo de Gases para las muestras que se enfocan en columna, esto implica menos gasto de gas criogénico, para enfriar; el gas se libera en la parte superior dentro de la cámara de enfriado de la trampa donde se encuentra la columna capilar, con la electrónica se controla una válvula especial que deja salir el gas para fijar la temperatura de enfriado, que previamente se selecciona, esta temperatura depende de los compuestos a ser analizados, esta puede ser cualquiera en el rango de la temperatura ambiente y los límites más bajos del gas que enfría. Inmediatamente después que llega a la temperatura deseada se inyecta la muestra o muestras que se quieren analizar por el puerto de inyección del cromatógrafo es aquí donde ocurre la adsorción.

Durante el proceso después de la inyección se espera un tiempo para que los compuestos orgánicos volátiles se coloquen en una banda estrecha en el frente de la columna del tubo capilar de la trampa.

Inyectar la muestra toma ocho minutos aproximadamente, este es el tiempo que se debe mantener la temperatura de enfriado para después calentar balísticamente el tubo capilar, (trabaja desorber)<sup>1</sup>, los compuestos se separan con dos criterios: peso molecular y presión de vapor. La temperatura que normalmente se utiliza para el lanzamiento de los volátiles atrapados es de 100°C a un máximo de 250°C.

## 2.2.0 ANÁLISIS DE LAS TRAMPAS DE ENFOQUE COMERCIALES.

A continuación se presentan trampas en donde se puede apreciar sus principales características y esquema.

Marca Agilent		
Modelo	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Nitrógeno Liquido (LN <sub>2</sub> )
Rango de Temperatura	-60 a 500°C	-160 a 500°C
Resolución	+/- 1°C	+/- 1°C
Rampa de calentamiento	720°C/min	720°C/min
Dimensiones	Largo = 100mm	Ancho = 20mm

Su esquema se muestra en la figura 2.2.

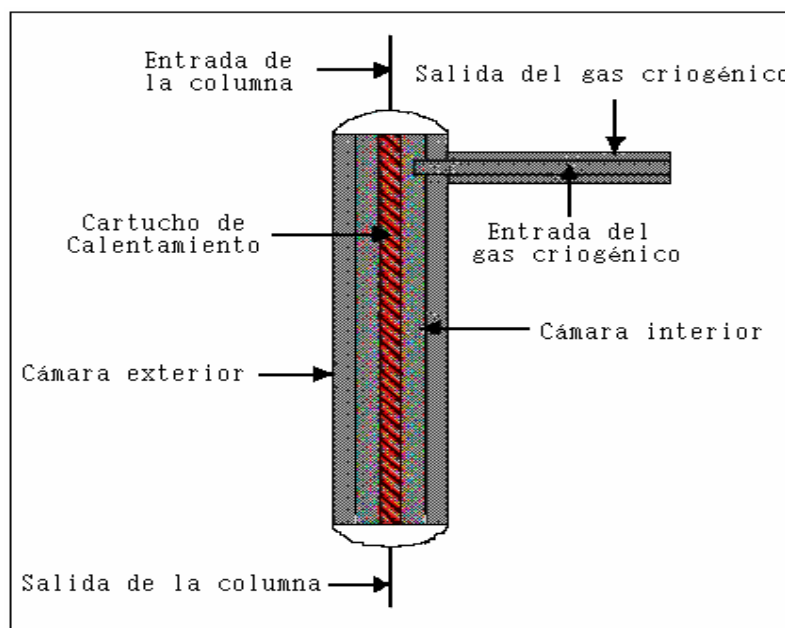


Figura 2.2. Forma de la trampa de la marca Agilent

<sup>1</sup> Desorber un gas de una superficie en la que esté adsorbido significa retirarlo de esa superficie.

<b>Marca SGE</b>		
Modelo	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Nitrógeno Líquido (LN <sub>2</sub> )
Rango de Temperatura	-60 a 300°C	-160 a 300°C
Resolución	+/- 1°C	+/- 1°C
Rampa de calentamiento	720°C/min	720°C/min
Dimensiones		

Los dos modelos, su esquema y sus características se muestran en la figura 2.3.

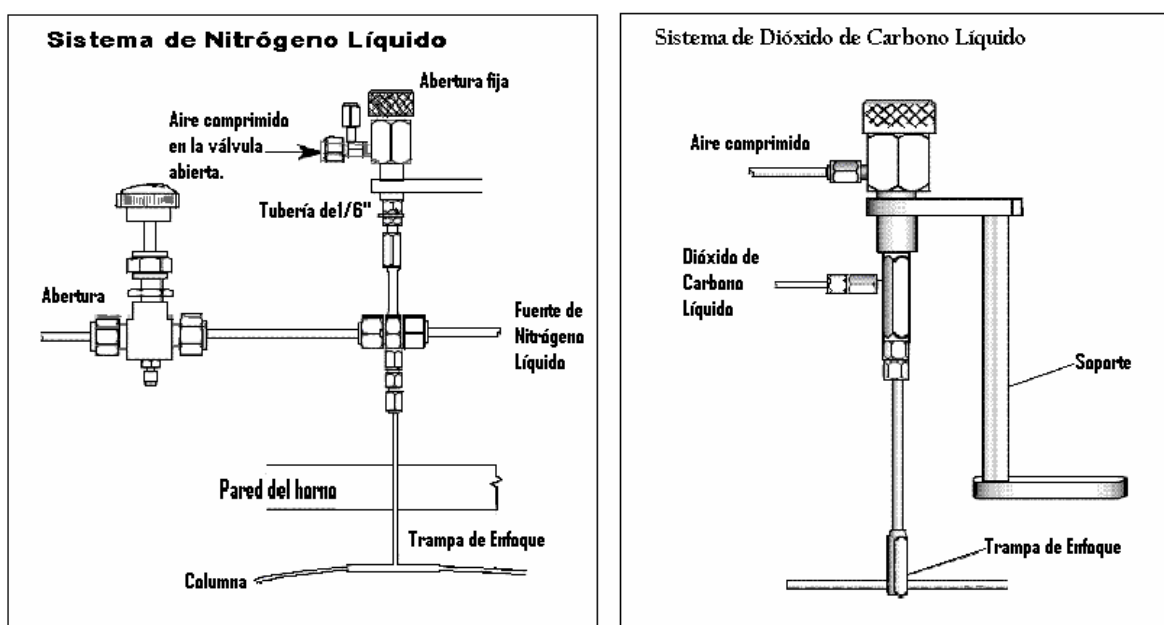


Figura 2.3. Forma física de las dos trampas de la marca SGE

<b>Fabricante</b>	<b>SISWEB (: Scientific Instrument Services, Inc)</b>	
Modelo	951 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	961 Nitrógeno Líquido (LN <sub>2</sub> )
Rango de Temperatura	-70 a 400°C	-180 a 400°C
Resolución	+/- 1°C	+/- 1°C
Rampa de calentamiento	800°C/min	800°C/min

Dimensiones	Largo = 5"	Ancho = 3/4 "
-------------	------------	---------------

Este fabricante ofrece la trampa para ambos gases criogénicos (nitrógeno y bióxido de carbono) el cuerpo es el mismo para ambos lo que cambia es el control electrónico y para cada modelo un paquete de instalación dependiendo el tipo de cromatógrafo de gases que se tenga. La trampa es la que se muestra en la figura 2.5:

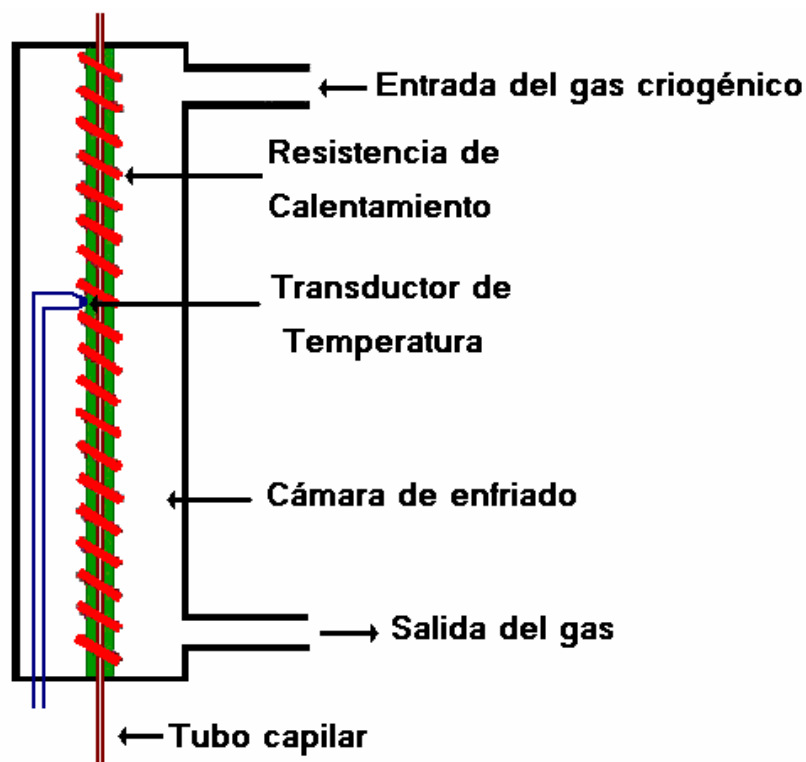


Figura 2.5. Forma física de la trampa de SISWEB

El precio en el mercado, de esta última, por trampa es de 3,300 dólares más el sistema de instalación dependiendo del modelo de cromatógrafo de gases y gas a utilizar, si se quiere comprar los modelos para los dos gases criogénicos ( $\text{CO}_2$  y  $\text{LN}_2$ ) se tiene un costo mayor de 6,000 dólares más accesorios de instalación.

En el mercado mexicano no existe a la venta este dispositivo por lo que se tiene que importar, el mantenimiento es nulo y si se requiere de algún repuesto o repuestos el usuario depende de los tiempos de importación.

### **2.2.1 ANTEPROYECTO DE DISEÑO.**

Este trabajo se centra en la necesidad de contar con instrumentos especializados para el análisis de muestras en los cromatógrafos de gases.

El diseño se basa en la comparación con las trampas comerciales, ya que su adquisición en el mercado mexicano, como se vio anteriormente, son de alto costo y se carece de soporte técnico.

De las diferentes trampas comerciales que existen y después de una evaluación de funcionamiento, confiabilidad y características de los compuestos a analizar por parte del investigador. El diseñador, tiene como objetivo la realización de una trampa que compita satisfactoriamente con las características de funcionamiento de la marca SISWEB:

- Temperatura criogénica variable y programable dependiendo de los compuestos a analizar.
- Temperatura de calentamiento de 100°C a 250°C máximo, ya que a estas temperaturas, es suficiente para el lanzamiento de los volátiles a analizar atrapados en la trampa.
- Un solo circuito electrónico en donde se programan las temperaturas criogénicas y de calentamiento, los tiempos en que permanece cada temperatura y el control de la misma.
- Fácil de instalar en cualquier modelo de cromatógrafo de gases.

### **2.3.0 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO POR ETAPAS Y CARACTERÍSTICAS.**

La trampa de enfoque se divide en seis etapas de funcionamiento:

- 1.- Etapa de medición y acoplamiento de señal.
- 2.- Etapa de programación y visualización de la información.
- 3.- Etapa de control
- 4.- Etapa de potencia.
- 5.- Etapa de alimentación del sistema.
- 6.- Etapa de diseño de la trampa de enfoque.

### **2.3.1 ETAPA DE MEDICIÓN Y ACOPLAMIENTO DE SEÑAL.**

Aquí es necesario seleccionar el mejor transductor de temperatura tomando en cuenta el funcionamiento de la trampa, casi todos los transductores entregan una señal analógica por eso la necesidad de diseñar el acoplamiento de esta señal para ser manipulada más eficientemente.

### **2.3.2 ETAPA DE PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN.**

Esta etapa se divide en dos partes: la primera, comprende los periféricos de entrada de datos, es útil para tener comunicación del usuario con el circuito y programar los datos necesarios para el dispositivo. La segunda, es para visualizar los datos que se estén programando y para tener un monitoreo continuo del trabajo de la trampa de enfoque.

### **2.3.3 ETAPA DE CONTROL.**

Esta se debe encargar de proporcionar el control de la temperatura, tanto enfriar como calentar.

### **2.3.4 ETAPA DE POTENCIA.**

Es la etapa encargada de acoplar el circuito diseñado y entregar la energía necesaria para los dispositivos externos a utilizar.

### **2.3.5 ETAPA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA.**

El circuito a diseñar necesita ser alimentado de la mejor manera, es en esta etapa donde se va a diseñar una fuente de alimentación de acuerdo a los circuitos integrados que se utilicen tomando en cuenta los voltajes y potencia adecuadas.

### 2.3.6 ETAPA DE DISEÑO DE LA TRAMPA DE ENFOQUE.

Es aquí donde se va hacer el diseño físico de la trampa, considerando también los requerimientos que el investigador requiere.

A continuación, en la figura 2.6, se presenta un diagrama a bloques de la trampa de enfoque.

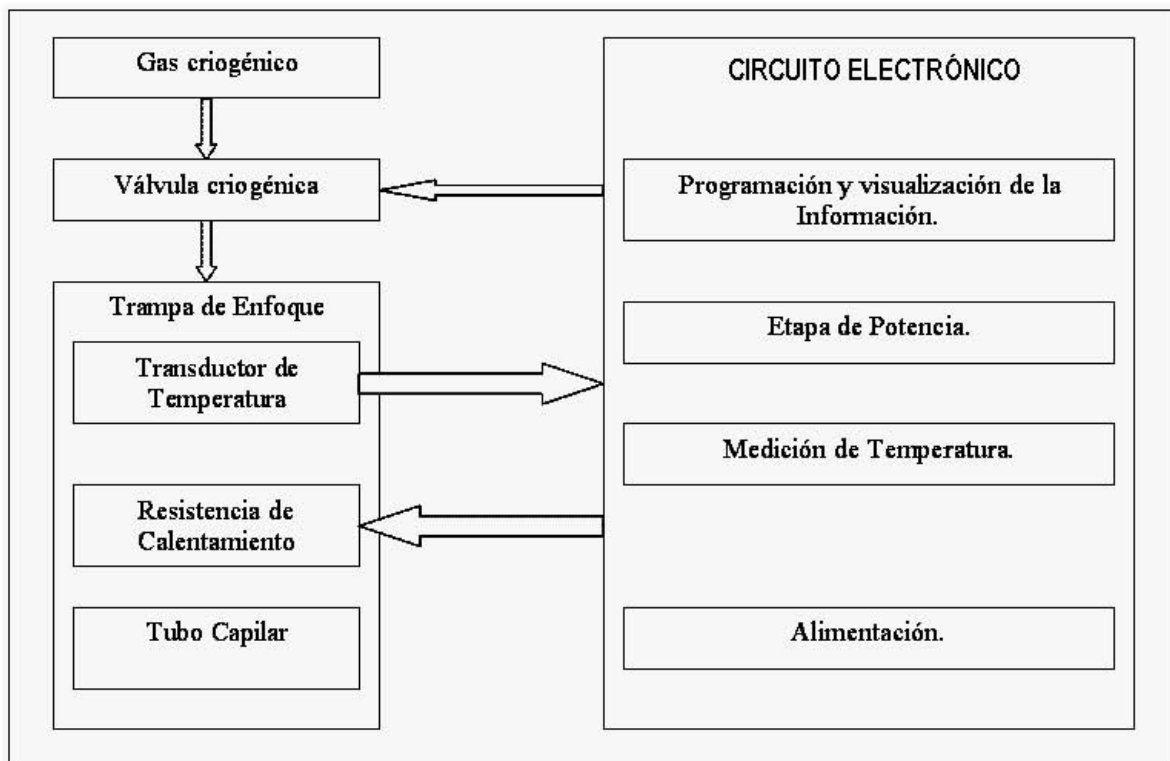


Figura 2.6. Diagrama a bloques de la trampa de enfoque.



## CAPÍTULO 3

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

Este capítulo describe cada una de las etapas que conforman la trampa de enfoque.

Para el diseño de cada etapa se analizan posibles alternativas, seleccionando aquella que resulte óptima para el desarrollo del prototipo.

#### 3.1.0 ETAPA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.

Para el desarrollo de esta etapa se deben cumplir las características planteadas en el capítulo 2. El rango de medición de las temperaturas es de  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $+250^{\circ}\text{C}$ .

Por lo que analizaremos algunos tipos de transductores de temperatura, así como sus ventajas y desventajas a fin de seleccionar la mejor opción para este desarrollo.

La temperatura es una de las magnitudes físicas que se miden con mayor frecuencia. Son numerosos los tipos de sensores que se han desarrollado para tal fin, entre los que se encuentran los termistores, circuitos integrados lineales (CI), termopares y los detectores de temperatura resistivos (RTD). El rango de temperatura, la sensibilidad, la exactitud, el costo, la linealidad así como el fácil diseño de circuito de acondicionamiento de señal, son algunas de las características que hay que tener en cuenta al momento de seleccionar un sensor, según los requerimientos de la aplicación. Ningún sensor es el idóneo para todas las aplicaciones.

##### 3.1.1 TERMISTOR.

El termistor proviene del inglés “thermistor” (**ther**mally sensitive **resistor**), y es un transductor de temperatura resistivo de alta resistencia que se emplea con mucha frecuencia en aplicaciones de adquisición de datos.

Su coeficiente de temperatura puede ser positivo (PTC; Positive Temperatura Coefficient) o negativo (NTC; Negative Temperatura Coefficient); estos últimos se emplean con mayor frecuencia.

Pueden fabricarse en pequeños tamaños y de una amplia gama de valores resistivos; se emplean en aplicaciones que requieren medidas sensibles sobre un rango pequeño de temperatura.

### **3.1.2 CIRCUITOS INTEGRADOS (CI) LINEALES COMO SENSORES DE TEMPERATURA.**

En general, estos dispositivos se comercializan en encapsulados de dos, tres y hasta cuatro terminales, con alimentaciones en el rango de 5 a  $30V_{cc}$ . La salida de voltaje que suministran es proporcional a la temperatura, actualmente existen CI que entregan el valor de la temperatura en forma analógica y en forma digital con algún protocolo de comunicación serie (SPI, I<sup>2</sup>C, etc.).

Estos sensores resuelven el problema de la linealidad y ofrecen altos niveles de rendimiento. El rango de funcionamiento abarca desde  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  y se emplean en aplicaciones donde la temperatura varía en ese rango.

### **3.1.3 TERMOPARES.**

Los termopares son probablemente los sensores de temperatura más utilizados (industria y laboratorios). Se emplean en situaciones de adquisición de datos; en equipos para el control de procesos y medidas automáticas.

A pesar de lo extendido de su empleo, no es sencillo lograr el correcto manejo del transductor, debido a que existen muchos tipos de termopares y sus datos requieren tratamiento debido a lo débil de su señal.

Un termopar consta de dos aleaciones unidas por un extremo, que constituye el punto sensible del transductor.

En la tabla de la Figura 3.1 se muestra los distintos tipos de termopares con su rango típico, su sensibilidad y la designación estándar.

Material de la unión	Rango típico (°C)	Sensibilidad ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	Designación
Platino(6%)/Rodio-Platino(30%)/Rodio	38 a 1800	7.7	B
Tungsteno(5%)/Renio-Tungsteno(26%)/Renio	0 a 2300	16	C
Cromo-Constantan	0 a 982	76	E
Hierro-Constantan	0 a 760	55	J
Cromo-Aluminio	-184 a 1260	39	K
Platino(13%)/Rodio-Platino	0 a 1593	11.7	R
Platino(10%)/Rodio-Platino	0 a 1538	10.4	S
Cobre-Constantan	-184 a 400	45	T

Figura 3.1. Tabla de distintos termopares con sus principales características

### 3.1.4 DETECTOR DE TEMPERATURA RESISTIVO (RTD).

Los detectores de temperatura resistivos (RTD; (Resistive Temperature Detector) son los sensores más estables y precisos. Su rango de medida es menor que el termopar, abarcando  $-200^\circ\text{C}$  a  $800^\circ\text{C}$ .

El Principio de funcionamiento del RTD es la variación de la resistencia de un metal con la temperatura.

En la tabla de la figura 3.2 se indican ventajas y desventajas de los sensores de temperatura más usuales. En la práctica, según la aplicación específica se elige el más adecuado.

	Termistor	Sensor CI	Termopar	RTD
<b>Ventajas</b>	Alto rendimiento. Rápido. Medida de dos hilos	El más lineal. El de más alto rendimiento. Económico.	Autoalimentado. Robusto. Económico. Amplia variedad de formas físicas. Amplia gama de temperaturas.	Más estable Más preciso Más lineal que los termopares.

<b>Desventajas</b>	No lineal. Rangos de temperatura limitados. Frágil. Precisa fuente de alimentación. Autocalentable.	Limitado a < 150 °C. Precisa fuente de alimentación. Lento. Autocalentable. Configuraciones limitadas.	No lineal. Baja tensión. Precisa referencia. El menos estable. El menos sensible.	Caro. Precisa fuente de alimentación. Pequeños cambios de resistencia. Autocalentable.
--------------------	---	--	---	---

Figura 3.2. Tabla comparativa de diferentes transductores de temperatura.

En conclusión, podemos decir que de los sensores de temperatura analizados el RTD es el más apropiado para medir los rangos de temperatura que van a manejarse en la trampa de enfoque (-70 °C a 250 °C).

Como se mencionó anteriormente el principio de funcionamiento de los RTD consiste en que la resistencia de los metales aumenta con la temperatura. Un metal apto para aplicaciones con el RTD debe de poseer las siguientes características:

- Elevada resistividad, con el fin de economizar material.
- Cambio en la resistividad con la temperatura adecuada a la resolución deseada, y lineal para simplificar el mecanismo de conversión.
- Propiedades mecánicas que hacen al dispositivo confiable.

La mayoría de los RTD son de platino (Pt)<sup>1</sup> porque, además de cumplir con las anteriores características, es un material muy resistente a la contaminación y sus propiedades se mantienen a muy largo plazo, aunque también los fabrican de Níquel (Ni).

Existen diferentes tipos de RTD de platino los cuales se clasifican de acuerdo a la resistencia que tienen a 0°C los más comerciales son Pt50, Pt100 y Pt1000, que tienen 50Ω, 100Ω y 1000Ω respectivamente, y existen también RTD's de dos, tres y cuatro hilos de conexión, esto para que se elimine el error asociado a la resistencia de los hilos de conexión.

<sup>1</sup> Pt es el símbolo químico del Platino.

Los RTD de platino adoptan muy diversas formas y tamaños pueden utilizarse en un intervalo de temperatura que va desde  $-200^{\circ}\text{C}$  a cerca de  $800^{\circ}\text{C}$ , lo que no significa que todos los modelos cubran este intervalo. Muy al contrario, un mismo fabricante puede ofertar distintos modelos de sensores con las mismas características nominales (por ejemplo, un RTD Pt100) y muy distintas aplicaciones. La razón, por supuesto, estriba en que el funcionamiento del transductor no está condicionado sólo por la resistencia, sino también por su soporte y sus protecciones, por ello es fundamental consultar los catálogos de los fabricantes antes de decidir por uno en particular.

Para obtener una medición de la temperatura entregada por el sensor es necesario un circuito acondicionador de señal, el cual nos sirve para convertir el valor de la resistencia relacionada con la temperatura a su equivalente valor en voltaje o corriente.

### **3.1.5 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACOPLAMIENTO.**

Existen varios métodos o formas para poder leer e interpretar la información que nos entrega el transductor de temperatura RTD, que son:

1.- Midiendo la resistencia del sensor directamente. Esto implica tener una fuente de corriente constante, esta corriente debe de ser lo suficientemente pequeña para evitar el calentamiento no deseado en el RTD. A pesar de que parece fácil su conexión a un multímetro hay que considerar que no se trata de medir la resistencia simplemente y luego convertirla a temperatura, ya que al tratarse de un transductor de baja resistencia, la conexión con dos hilos lleva asociada un error debido a las resistencias de los hilos.

2.- La lectura de la resistencia medida por medio de un puente de Wheatstone. Este método se utiliza para convertir la salida de sensores resistivos, capacitivos e inductivos en una señal de voltaje, la desventaja al utilizar un RTD es que tiene resistencia baja y se debe considerar la resistencia que esta asociada a los hilos de conexión, de ahí que existan RTD's de dos, tres y cuatro hilos para disminuir el error de medición.

3.- Utilizando un amplificador operacional en configuración inversor, midiendo la ganancia que es función de la resistencia del RTD, de esta forma se mide un voltaje sin la necesidad de medir la resistencia del transductor, y el error asociado a los hilos de conexión se puede corregir en el circuito electrónico.

Por lo que se decidió utilizar la última opción debido a que presenta las siguientes características:

- Facilidad de diseño.
- Menor costo de los componentes.
- Facilidad para calibrar el sensor.
- No requiere fuente de corriente.
- No produce autocalentamiento.
- Se usa un RTD de tres hilos para reducir el error por conexión.
- No se mide directamente la resistencia del RTD.

Para llevar a cabo esto se necesita un voltaje fijo y conocido para este propósito se diseño el circuito mostrado en la figura 3.3:

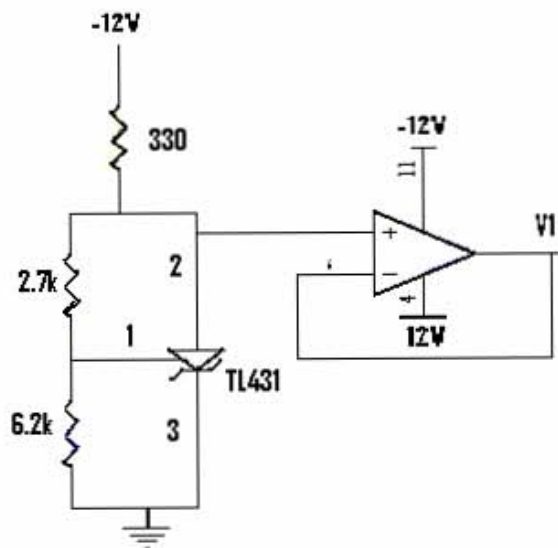


Figura 3.3. Fuente de voltaje constante con seguidor de voltaje.

La finalidad de este circuito es tener una fuente constante de voltaje y como se observa es negativa, esto es por facilidad de diseño, el seguidor de voltaje acopla cada una de las etapas.

Este voltaje se conecta a un amplificador inversor, donde la ganancia es función de la resistencia del RTD. Figura 3.4.

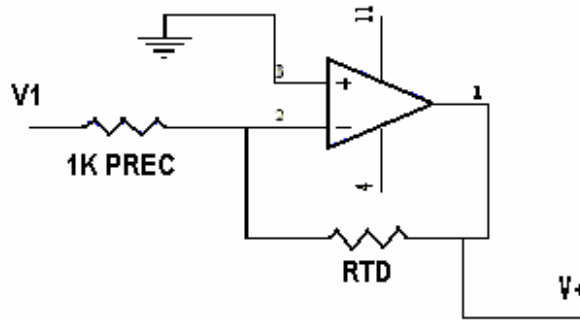


Figura 3.4. Amplificador inversor donde el RTD es la resistencia de ganancia

La ganancia de este circuito esta dada por la ecuación:

$$V+ = \frac{RTD}{1k}(V1)$$

Este voltaje de salida se conecta en la entrada positiva de un amplificador de instrumentación, la entrada negativa viene de la fuente de voltaje fija que se muestra en la figura 3.5.

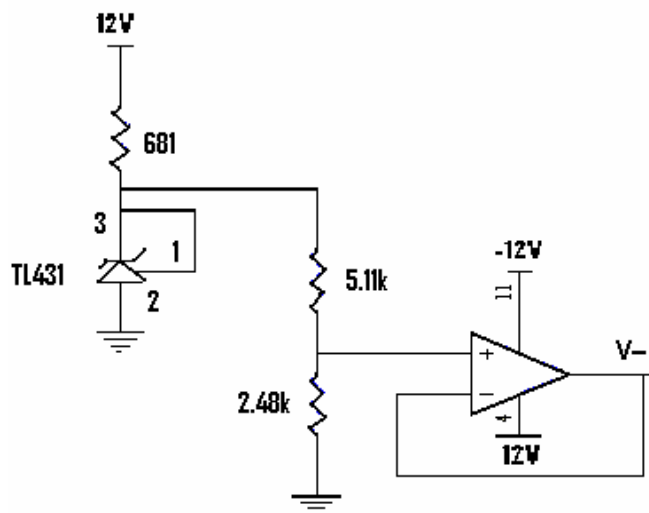


Figura 3.5. Fuente de voltaje fija, se conecta en la entrada negativa del amplificador de instrumentación.

Esta fuente se calcula con las tablas de resistencia del sensor a la temperatura más baja que se va a medir, se tiene a la salida del amplificador inversor un voltaje de 0.270V (voltaje que debe tener esta fuente), para que a la salida del amplificador de instrumentación se tenga un voltaje de 0V cuando la temperatura sea más baja. Una vez obtenida la información se midió y se observó que presentaba ruido en modo común y había que eliminarlo por lo que se decidió utilizar el AD620 que es un amplificador de instrumentación y cumple con el funcionamiento requerido, éste modelo se puede adquirir fácilmente en el país, y es económico. Se conecta como muestra la figura 3.6.

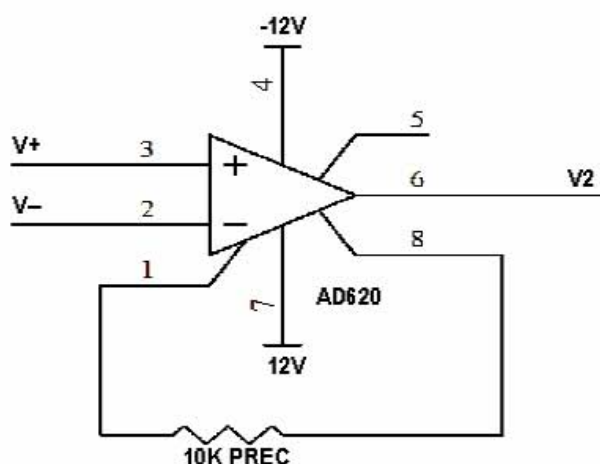


Figura 3.6. Amplificador de instrumentación AD620

La salida del amplificador de instrumentación esta dada por la ecuación:

$$V2 = G(V(+) - V(-))$$

Se observa que la salida no depende del voltaje común de V+ y V- (voltaje de modo común), sólo de su diferencia.

Donde G es la ganancia que vale 5.6, y se entrega un voltaje de 0 a 10V, pero se necesita que entregue un voltaje de 0V a 5V para ser utilizado por un convertidor analógico digital, para tal fin se diseñó un circuito acoplador de señal (CAS), para que reciba la señal proveniente del amplificador de instrumentación y proporcione la señal a utilizar en el convertidor analógico digital, el circuito es el mostrado en la Figura 3.7.



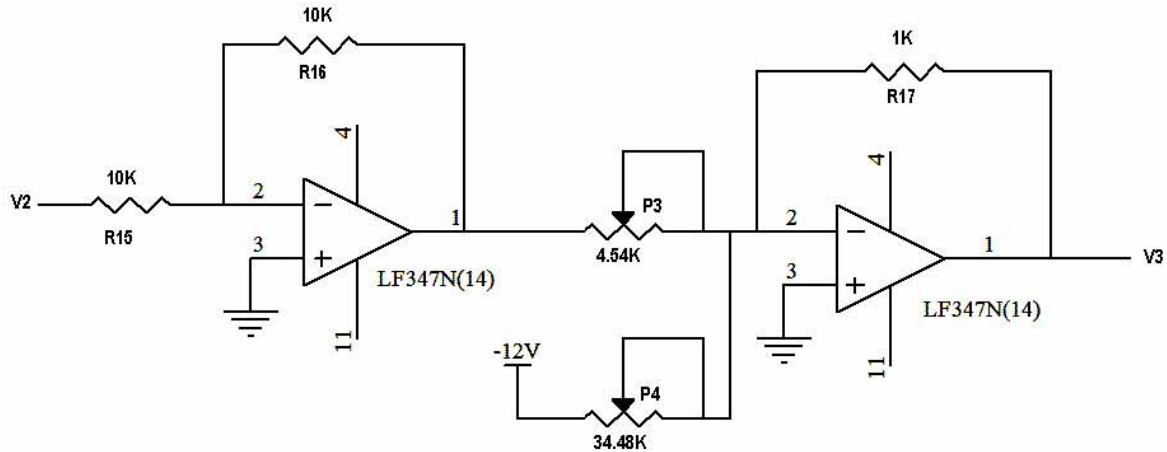


Figura 3.7. Circuito acoplador de señal.

El potenciómetro P1 sirve para mover la pendiente y el potenciómetro P2 se utiliza para mover la ordenada al origen (offset) de la recta de la temperatura, esta señal V3 es la que se utiliza.

Para manipular la señal que se tiene a la salida del CAS (V3) y para las etapas faltantes, se puede hacer en un circuito analógico, pero esto implica tener varios dispositivos electrónicos que harían un circuito más grande y caro, la solución es utilizar un microcontrolador, ya que en este dispositivo se puede tener un circuito pequeño y con mejor respuesta

En la siguiente grafica se comparan los voltajes de la salida V+ (figura 3.4) que es el voltaje que representa la temperatura de acuerdo a la ganancia del amplificador operacional y la salida del circuito acoplador de señal (V3), que es el voltaje que representa la temperatura.

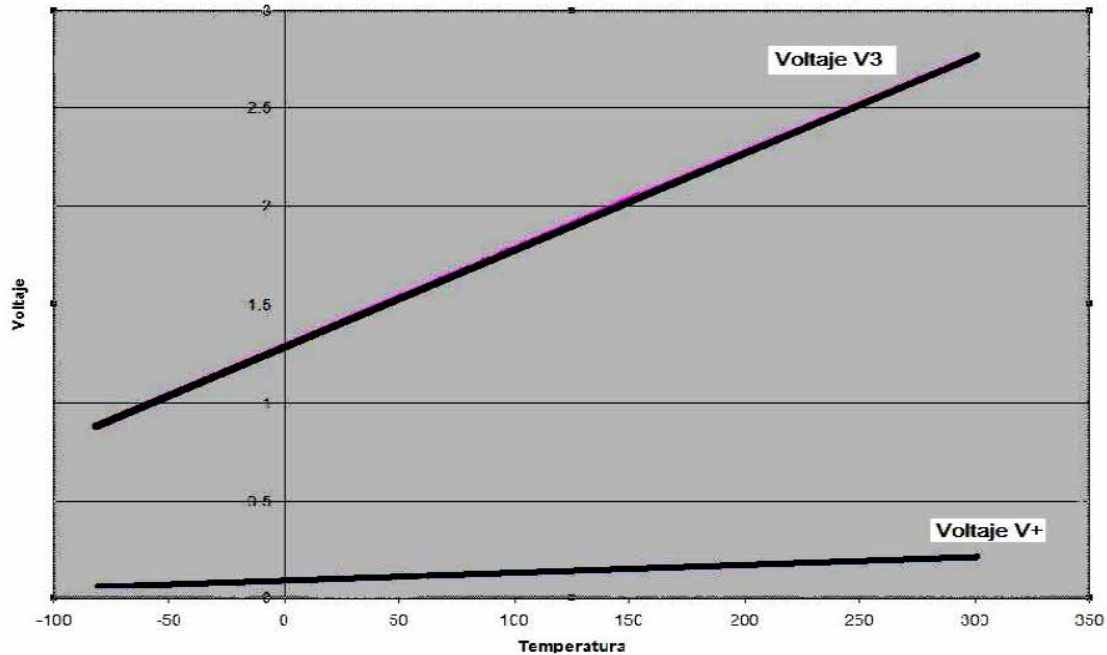


Figura 3.8. Comparación de los voltajes V+ y V3

### 3.2.0 EL MICROCONTROLADOR.

La evolución tecnológica ha llevado a la implementación física de los controladores discretos desde circuitos de compuertas lógicas hasta los sistemas de mediana y alta escala de integración, que derivaron en los microprocesadores y los microcontroladores. Los microprocesadores surgieron como respuesta a la necesidad de una plataforma de hardware dinámica que pudiera ser modificada y acoplada a diferentes sistemas.

Cuando el nivel de integración de los dispositivos semiconductores permitió incorporar algunos elementos que acompañaban a los microprocesadores (como por ejemplo, memoria, convertidores, etc.) dentro de un solo circuito integrado surgieron los microcontroladores.

Un microcontrolador es un dispositivo utilizado para programar y automatizar varias tareas que antes se hacían con varios dispositivos analógicos, este viene a sustituir los complejos y caros sistemas que se utilizaban, con un sólo integrado y algunos periféricos adicionales, debido a que, contiene diferentes dispositivos como memorias, dispositivos de entrada salida (E/S), temporizadores, convertidores analógico digital, protocolos de comunicación, etc.

Hoy en día es una herramienta poderosa y fundamental en casi todos los proyectos, lo cual resulta en tener varias ventajas como son:

- Mayor rapidez de respuesta.
- Mayor exactitud de los cálculos.
- Mayor velocidad de procesamiento.
- Menos dispositivos externos.
- Menor espacio físico.
- Periféricos disponibles en el mismo circuito integrado.
- Varias versiones que van desde tamaño, velocidad capacidad de memoria, etc.

### **3.2.1 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.**

En el mercado existen muchos modelos disponibles así como fabricantes, tomando en cuenta la relación costo-beneficio fue necesario reducir las opciones posibles para seleccionar un microcontrolador, pues para evaluar y comparar todos se requiere de invertir demasiado tiempo. Se debe definir cual modelo se va a utilizar, debido que éste determinará las características de las señales entregadas por los dispositivos de entrada y de control para los dispositivos de salida, las características deseables son:

- Alta capacidad de almacenamiento en memoria de programa para poder implementar las rutinas necesarias para el control del dispositivo.
- Suficientes terminales de entrada y salida para reducir los elementos externos.
- Memoria de datos no volátil para almacenar valores de configuración.
- Varios temporizadores para establecer base de tiempo.
- Convertidores analógico-digitales para trabajar con señales analógicas.
- Flexibilidad en la frecuencia de operación así como del voltaje de alimentación.
- Protocolos de comunicación.
- Memoria flash para depuración del programa.
- Diversidad de herramientas de desarrollo disponibles.
- Facilidad de programar.
- Bajo costo.

Se eligió el microcontrolador PIC16F877A del fabricante MICROCHIP porque cumple con todos los requisitos. Se muestra su diagrama de conexión en la figura 3.9.

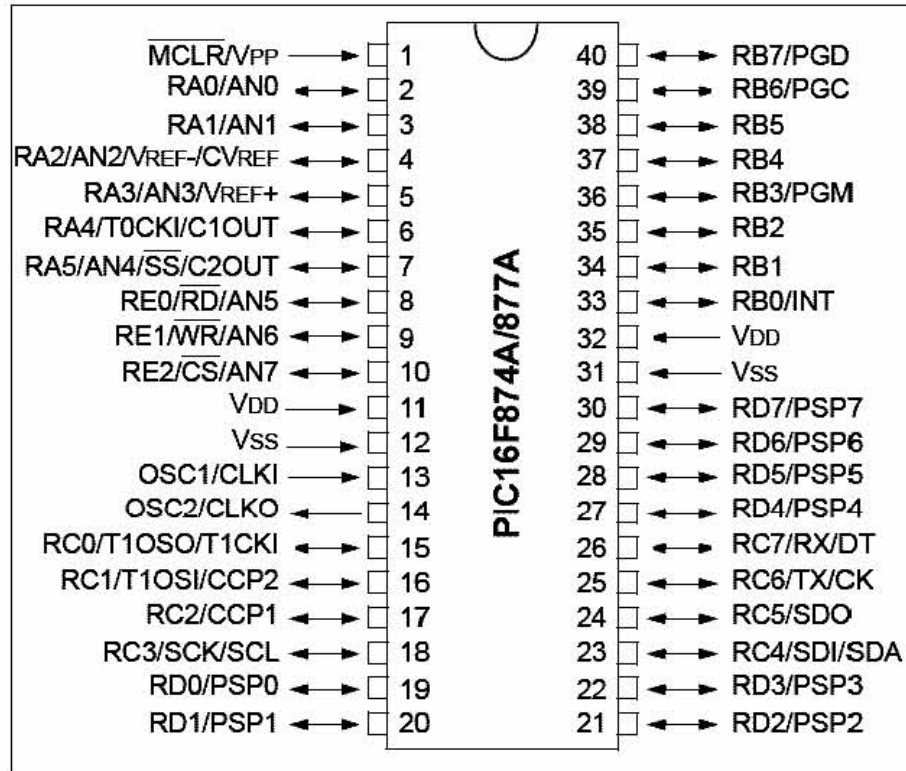


Figura 3.9, Diagrama de conexión del PIC 16F877A

Algunas características de este microcontrolador son:

- Memoria RAM 368
- Memoria Flash 8K
- Terminales de entrada/salida 33
- Temporizadores, dos de 8 bits y uno de 16 bits
- Voltaje de operación de 2V a 5.5V
- Comunicaciones digitales; USART, SPI y I<sup>2</sup>C
- Velocidad máxima de operación 20MHz

Ya que se tiene seleccionado el microcontrolador con el que se va a trabajar, se analizara cada etapa y la programación correspondiente, cabe hacer notar que toda la etapa de programación es realizada en lenguaje ensamblador.

### 3.3.0 CONVERSIÓN ANALÓGICO-DIGITAL.

De acuerdo al rango de temperaturas que se manejan en el prototipo y la resolución máxima que los microcontroladores en general son capaces de manejar (10 bits) se requirió buscar otro convertidor que manejara 12 bits y fuera compatible con el micro. Para así conectar la salida del circuito de acoplamiento de señal V3 (Figura 3.7)

Investigando, diferentes alternativas, se localizó un convertidor analógico digital de 12 bits de la misma familia Microchip el modelo MCP3221, este utiliza un protocolo de comunicación I<sup>2</sup>C, se implemento la comunicación del protocolo, y se hizo funcionar, el circuito que se diseño mismo que se muestra en la figura 3.10. Este convertidor manda la conversión en forma serial, esto es a través de dos hilos por lo que solo se necesitan dos terminales del microcontrolador que son RC3 y RC4, cosa que facilita el circuito electrónico no así la programación.

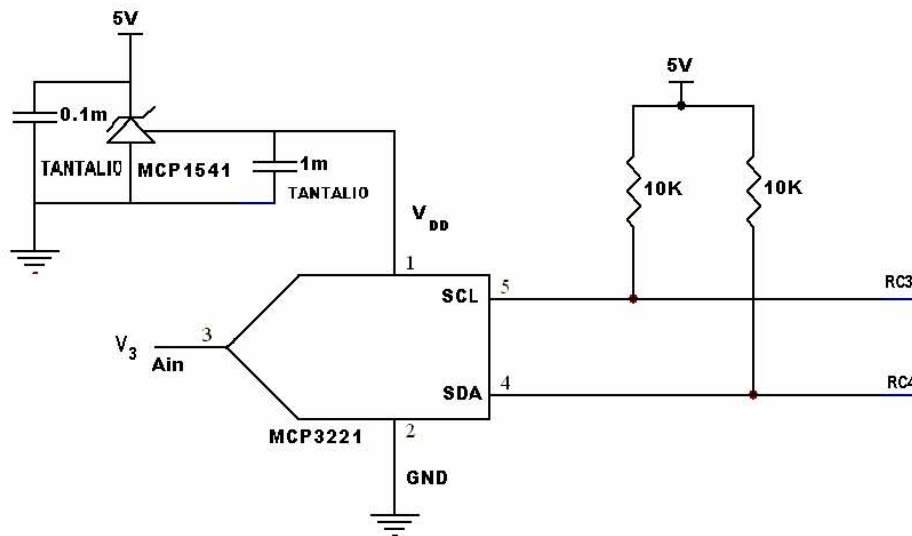


Figura 3.10. Conexión del convertidor analógico digital de 12 bits.

Para inicializar la comunicación I<sup>2</sup>C en el PIC se utiliza la subrutina INIT\_I2C, donde también se manda a leer el convertidor (LEER\_I2C). Los diagramas de flujo de esta parte se muestran en la figura 3.11.

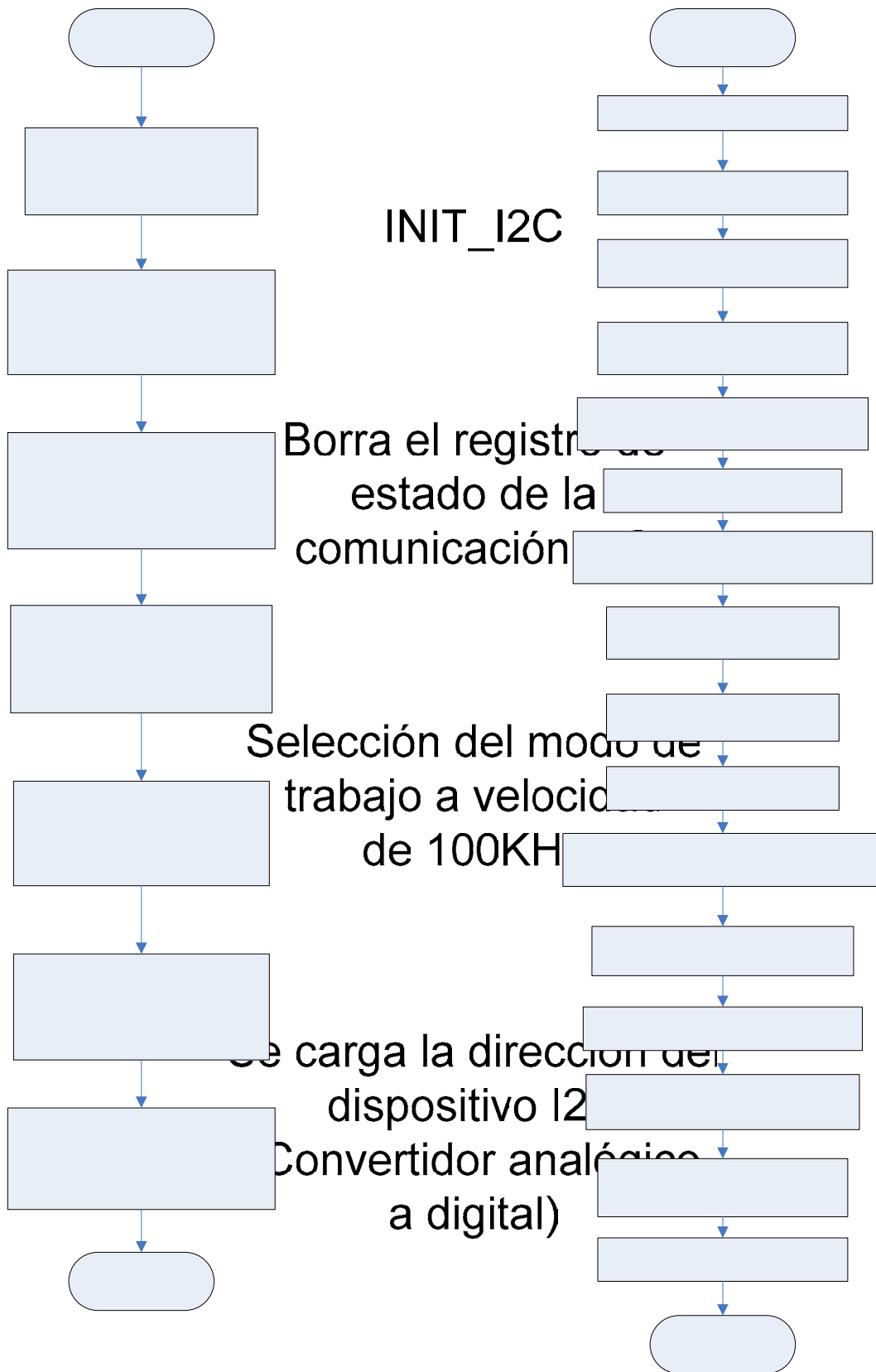


Figura 3.11. Diagramas de flujo para inicializar y leer el convertidor.

Borro el registro de control para empezar

Para tener un dato de la temperatura más confiable se mandan a leer diez valores en menos de un segundo, y por programación se hace el promedio de ellos, además de hacer las operaciones necesarias a los datos obtenidos.

La información que recibe el microcontrolador es la que se manipula y se visualiza, esta también es la que se utiliza para el control de temperatura.

### 3.4.0 ETAPA DE PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN.

En esta parte vamos a tratar de la forma más sencilla y adecuada la manera de introducir información y visualización de la misma.

#### 3.4.1 TECLADO.

Para programar la información de entrada de datos a utilizar se propone utilizar un teclado matricial, típico en las aplicaciones con microcontrolador es el de 4x4, como el que se muestra en la figura 3.12.

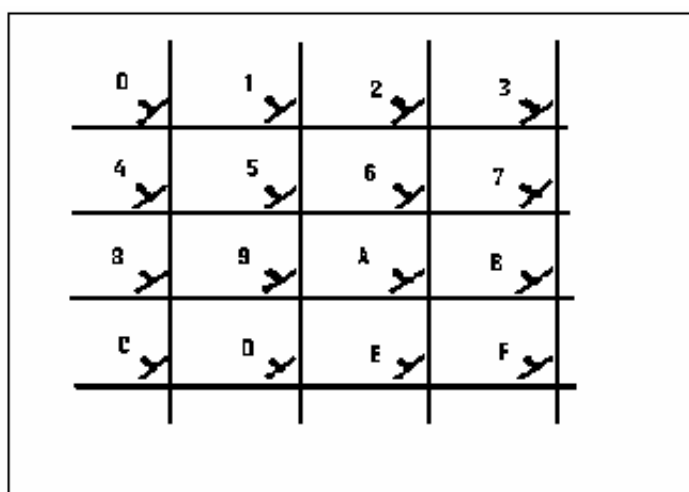


Figura 3.12 Teclado matricial de 4x4.

Este dispositivo consta de 16 teclas que tiene números (0-9) y letras (A-F), dispuestas e interconectadas en filas y columnas, con la finalidad de reducir el número de líneas de entrada y salida necesarias para ser conectado al microcontrolador.

En un teclado NO matricial, cada tecla necesita una línea de entrada, es decir necesitaría 16 terminales del microcontrolador disponibles, en cambio en un matricial de 4x4 solo son necesarios ocho terminales de conexión para el mismo número de teclas.

Cada tecla se conecta a una fila y una columna, este dispositivo es conectado al puerto B del microcontrolador, como se muestra en la figura 3.13.

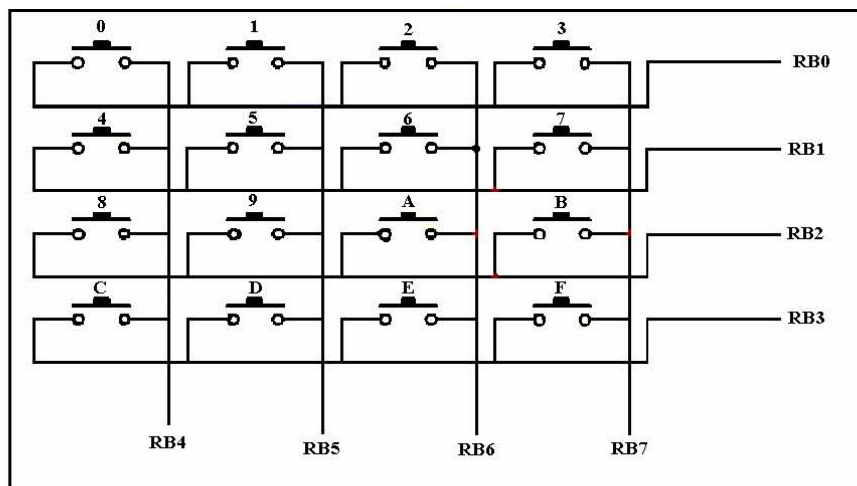


Figura 3.13. Esquema del teclado matricial 4x4

Para utilizar el teclado con el microcontrolador se tiene que configurar la parte baja del puerto (RB0-RB3) como salidas (filas) y la parte alta (RB4-RB7) como entradas (columnas), el microcontrolador tiene en el puerto B, resistencias de polarización internas programables que permiten conectar el teclado sin la necesidad de añadir componentes externos, por esta razón se activan, esto se hace al inicializarlo.

Ahora para saber que tecla esta siendo pulsada, se realiza un barrido de señales en el teclado, el programa que se usa para este fin se explica a continuación de forma esquemática en el diagrama de flujo de la figura 3.14.



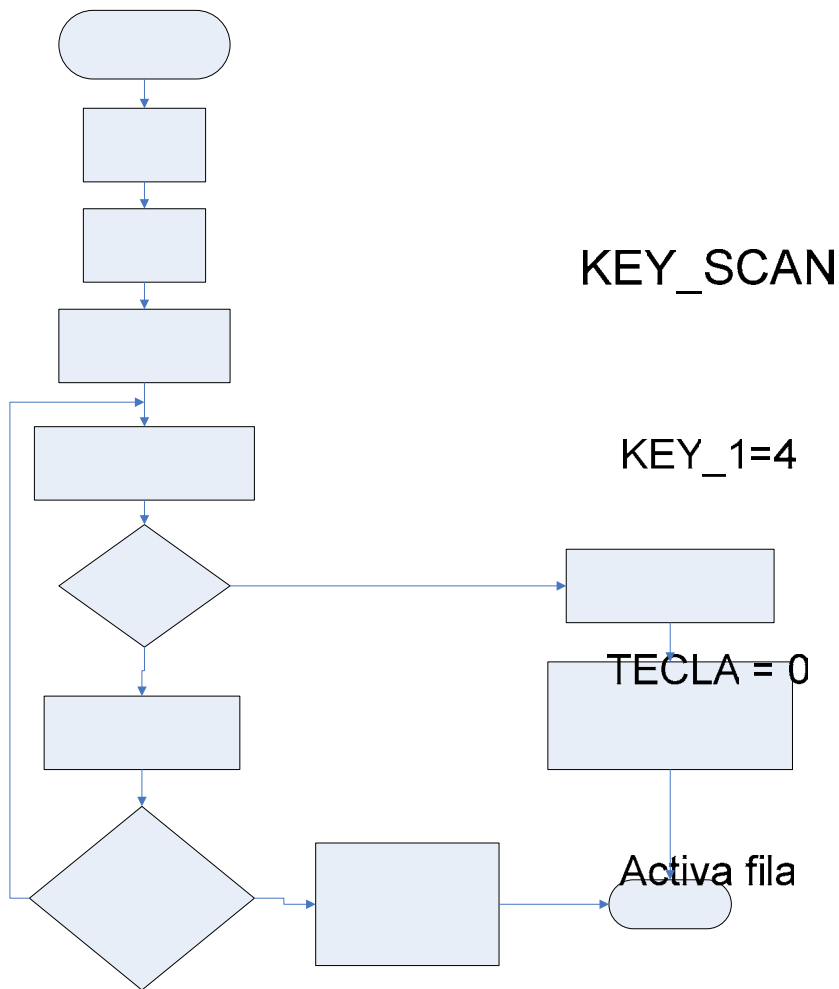


Figura 3.14. Diagrama de flujo para analizar la información del teclado

Consiste en ir poniendo una a una las líneas RB0-RB3 (conectadas a las filas del teclado) a nivel bajo (ACTIVA FILA) ya que estas salidas tienen conectada la resistencia de polarización a  $V_{cc}$  y por lo tanto están siempre a nivel lógico alto. Cada vez que una fila se pone a nivel bajo se hacen cuatro comprobaciones para ver si una de las cuatro columnas cambia de estado (EXPLORA COLUMNAS) y de esta forma identificar que tecla se pulso.

Cuando se pulsa una tecla, el código del valor del teclado retorna al programa principal en una variable que se llama TECLA, la combinación de estas se ve en la tabla de la figura 3.15, y retorna con el valor hexadecimal 0x80 cuando no se presiono ninguna tecla.

	SALIDAS				ENTRADAS			
B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	TECLA
0	1	1	1	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1	0	1	2
0	1	1	1	1	1	1	0	3
1	0	1	1	0	1	1	1	4
1	0	1	1	1	0	1	1	5
1	0	1	1	1	1	0	1	6
1	0	1	1	1	1	1	0	7
1	1	0	1	0	1	1	1	8
1	1	0	1	1	0	1	1	9
1	1	0	1	1	1	0	1	A
1	1	0	1	1	1	1	0	B
1	1	1	0	0	1	1	1	C
1	1	1	0	1	0	1	1	D
1	1	1	0	1	1	0	1	E
1	1	1	0	1	1	1	0	F

Figura 3.15. Tabla de combinaciones del teclado.

Cada que se presiona una tecla se produce muchos contactos intermitentes antes de que llegue al estado final, a este fenómeno físico se le conoce coloquialmente como rebotes. El tiempo que dura depende del tipo de conmutador o pulsador; típicamente son unos milisegundos. Si se tiene en cuenta que una instrucción del microcontrolador se ejecuta en un tiempo comprendido en 200ns con un cristal de 20MHz, este puede ejecutar fácilmente unas 5000 instrucciones por milisegundo. Al ser tan rápido el microcontrolador puede considerar cada rebote como que la tecla se presionó. Es por eso que para no considerar cada rebote como el cierre de la tecla, se introduce un retardo de tiempo por programación (antirrebote). Este retardo, permite que la tecla pulsada se estabilice dando tiempo a que pase el transitorio.

La subrutina KEY\_ALFA permite, separar las teclas numéricas de las alfabéticas, ya que las primeras se utilizan con su valor y las segundas son utilizadas como teclas de función.

### 3.4.2 DISPLAY.<sup>2</sup>

Los displays son periféricos muy importantes y su función es mostrar información de algún proceso, control, instrumento o circuito electrónico. Estos hacen las veces de monitoreo del puerto de salida.

Generalmente se emplean del tipo de 7 segmentos, aunque hoy en día se ha venido incrementando el uso de los de Cristal Líquido (LCD de sus siglas en inglés), el cual consume menor energía en comparación con el de 7 segmentos y además permite mostrar una gran variedad de caracteres, símbolos o incluso gráficos (en algunos modelos).

Los LCD de texto son los más baratos y simples de usar. Solamente permiten visualizar mensajes cortos de texto. Existen algunos modelos estandarizados en la industria, en función de su tamaño medido, en número de líneas y columnas de texto.

Por el consumo mínimo de potencia, su facilidad de uso, y presentación se decidió utilizar uno de cristal líquido (Pantalla de LCD). La pantalla que se usa es de la marca Jinghua, modelo JM164A STN LED. El cual puede mostrar dieciséis caracteres en cada una de sus cuatro líneas (16x4), cada carácter tiene 5x7 píxeles (aunque se puede configurar para 5x10 píxeles), figura 3.16. El consumo de potencia de este dispositivo es (7.5mW) y su fácil manejo lo hace ideal para dispositivos con microcontroladores que requieren una capacidad de visualización de pequeña a media y que sea constante.

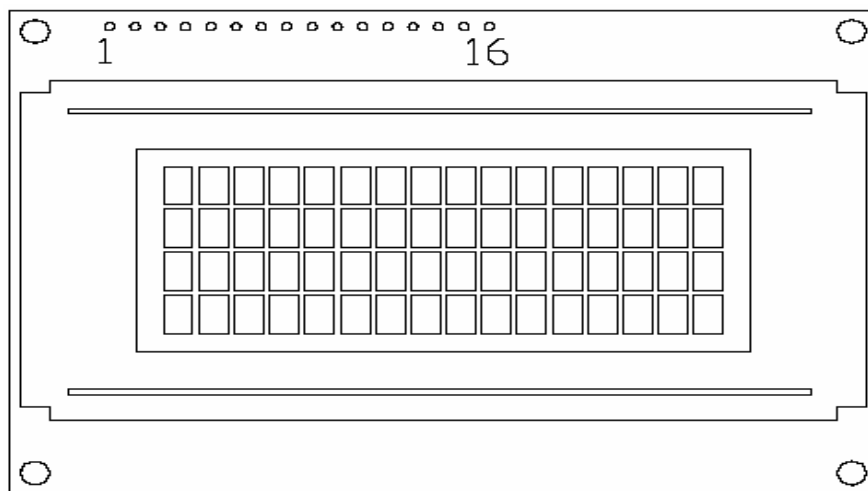


Figura 3.16. Pantalla de Cristal Líquido (LCD).

<sup>2</sup> Pantalla de exhibición de información.

Como se ve en la figura 3.16, el LCD cuenta con 16 terminales, cuya descripción se muestra en la tabla de la figura 3.17. La alimentación es de 5V (típica), se ajusta el contraste ( $V_{EE}$ ) con un potenciómetro de 10K.

Número de terminal	Símbolo	Función
1	$V_{SS}$	Tierra
2	$V_{DD}$	Voltaje de alimentación
3	$V_{EE}$	Ajuste de contraste
4	RS	Selección de modo
5	R/W	Lectura/escritura
6	E	Validación
7-14	D0-D7	Datos
15	A	Ánodo (Backlight)
16	K	Cátodo (Backlight)

Figura 3.17. Tabla de descripción de conexión del LCD

Para comunicarse con la pantalla LCD se hace por medio de sus conectores de entrada de dos posibles maneras, con un bus de ocho bits o con un bus de cuatro bits, este último es el que se usara para este trabajo. La parte alta del bus de datos del LCD (D4-D7) se conecta a la parte alta del puerto D (RD4-RD7) del microcontrolador y la parte baja del bus de datos (D0-D3) del LCD no se conectan. Figura 3.19. Las líneas de datos son tri-estado, esto indica que cuando el LCD no esta habilitado sus entradas y salidas pasan a alta impedancia.

Tiene tres líneas de control que son: terminal 4 (RS) este determina cuándo los datos que se envían a la pantalla se están manejando como comandos o como caracteres, la terminal 5 (R/W) indica si se van a leer o escribir datos en la pantalla y la terminal 6 (E) de validación, que cuando esta habilitado explora el estado de las otras líneas de control y responde de acuerdo con el mismo, si no está habilitado, el LCD ignora las restantes líneas y permanece activo.

En la tabla de la figura 3.18, se describe la función de cada terminal de control, que depende del valor que se le envíe.

Terminal de Control.	1 Lógico.	0 Lógico.
4 (RS)	Caracteres	Comandos
5 (R/W)	Lectura	Escritura
6 (E)	LCD Activo	LCD Desactivado

Figura 3.18. Función de las terminales de control del LCD

Las líneas de control de la pantalla de cristal líquido se conectan a la parte baja del puerto D, como se muestra en la figura 3.19. Se observa que la línea de lectura/escritura (R/W) se conecta a tierra, ya que no se tiene la necesidad de leer algún dato del LCD, es decir, sólo se va a escribir.

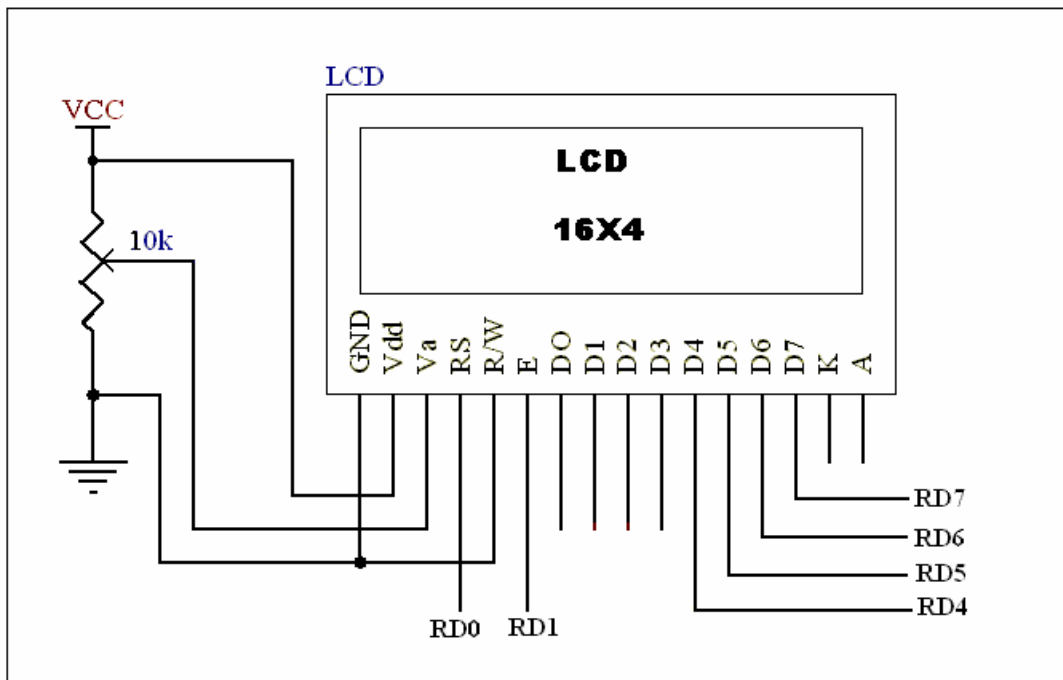


Figura 3.19. Conexión del LCD con el PIC

El diagrama de flujo de la figura 3.20, explica el funcionamiento de la pantalla de cristal líquido, es necesario inicializar el LCD antes de ser utilizado, esto se hace a través de programación, la forma en que se va a trabajar es la siguiente:

- Incremento del cursor.
- Se mueve el cursor.
- Desplazamiento a la derecha.
- Bus de datos de 4 bits.
- Cuatro filas dieciséis caracteres.
- Caracteres de 5x7 puntos.
- Parpadeo del cursor OFF.
- Cursor OFF.

El diagrama de flujo para inicializar la pantalla de LCD se muestra en la figura 3.20.

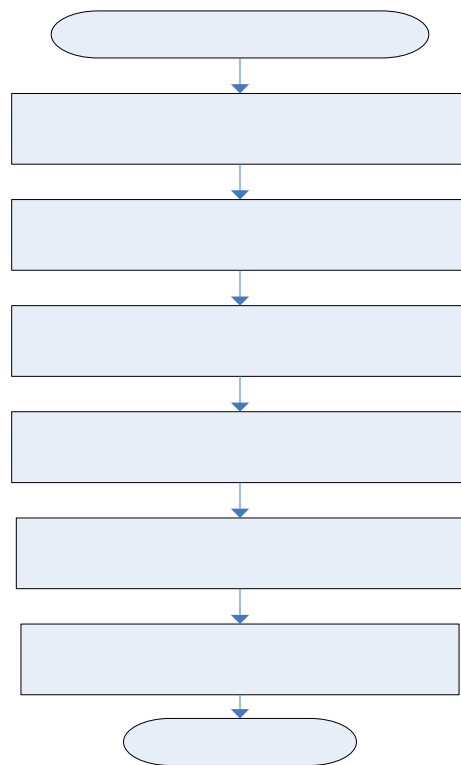


Figura 3.20. Códigos a enviar para inicializar la pantalla de cristal líquido 4 bits.

Al encender la pantalla LCD se debe esperar cien milisegundos para dar tiempo a que se estabilice, inmediatamente se mandan las instrucciones para inicializarlo. A continuación en el diagrama de flujo de la figura 3.21 se describe la forma en que se envían los datos, para esto es necesario reservar memoria del microcontrolador son dos buffer de 16 variables cada uno, cada variable representa una posición en la pantalla. Los datos a visualizar son:

- Datos de entrada que son: las temperaturas de enfriado y calentado.
- Tiempos para cada una de las temperaturas.
- Temperatura del sensor.
- Etapa en que se encuentra el proceso.
- Monitoreo continuo
- Fin del proceso.

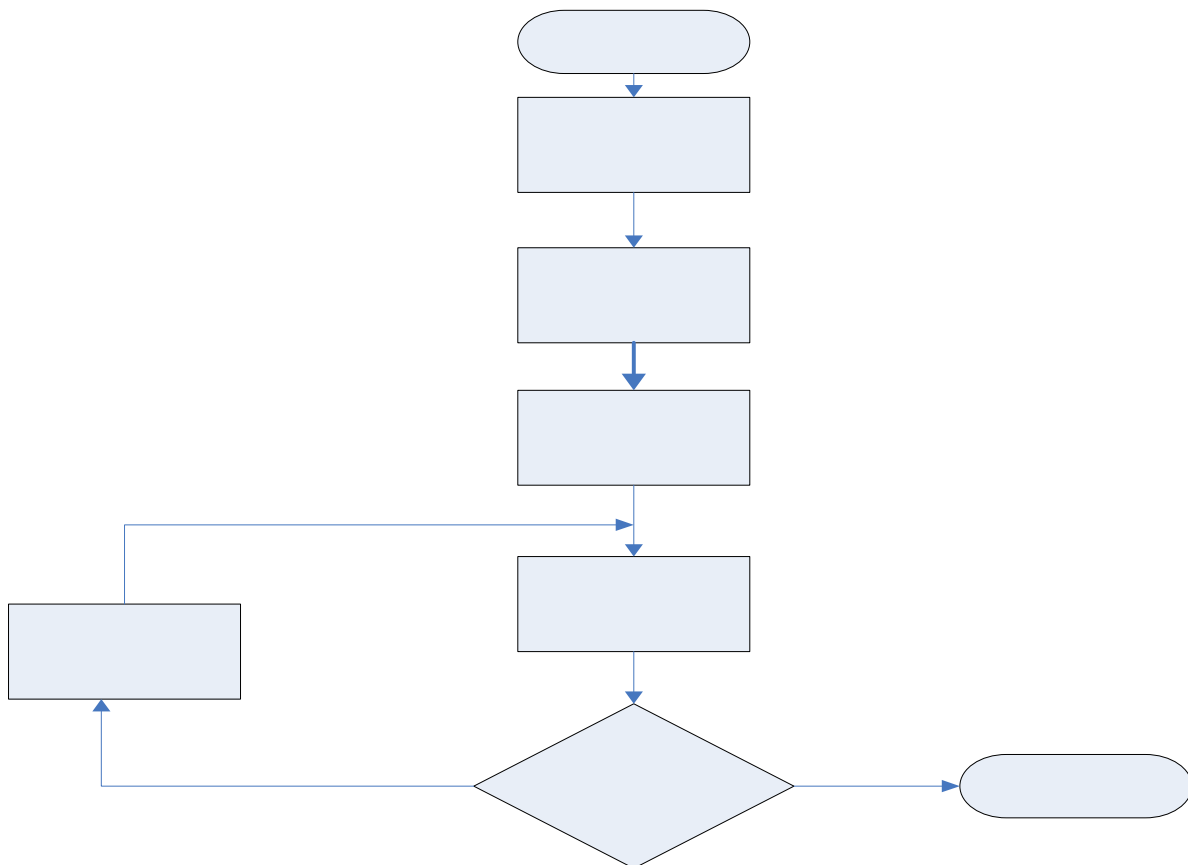


Figura 3.21. Envío de datos del Buffer a la pantalla.

El buffer tiene el valor y la posición de donde se debe colocar cada dato, es importante hacer la conversión del dato a su equivalente ASCII ya que la pantalla sólo recibe valores con este código, para este fin se utiliza la subrutina HEXTOASCII, los datos que se visualizan son decimales, es decir, todos los valores que estén en decimal se convierten primero a su equivalente en hexadecimal y estos a su vez a ASCII.

La pantalla se utiliza durante todo el proceso ya que es necesario estar visualizando la temperatura en todo el proceso de análisis.

### **3.5.0 ETAPA DE CONTROL.**

Un sistema de control es aquel en el cual es posible manipular o ajustar a voluntad alguna característica o propiedad de diversas variables físicas, por ejemplo, posición, velocidad, aceleración, presión, gasto, temperatura, nivel.

Los sistemas de control se clasifican en dos tipos:

- a.) No retroalimentados.
- b.) Retroalimentados.

a.) No retroalimentados o sistemas de control en lazo abierto son los cuales la salida no afecta la acción de control. En otras palabras, en un sistema de control de lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo, práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el enjuague operan con una base de tiempo. La maquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto (Figura 3.22), la salida no se compara con la entrada de referencia. Por lo tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración.

Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas.



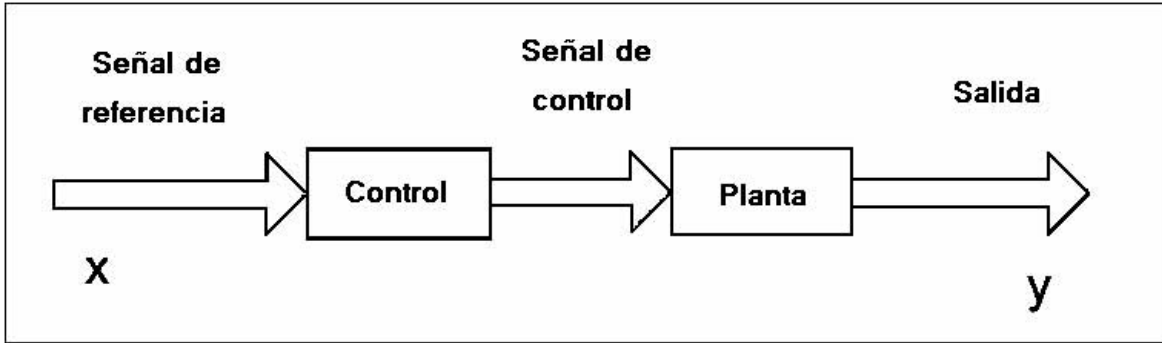


Figura 3.22. Diagrama a bloques de un control no retroalimentado.

b.) Los sistemas de control retroalimentado se denominan también sistemas de control de lazo cerrado (Figura 3.23). En la práctica, los términos control retroalimentado y control de lazo cerrado se usan indistintamente. En este, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control de lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

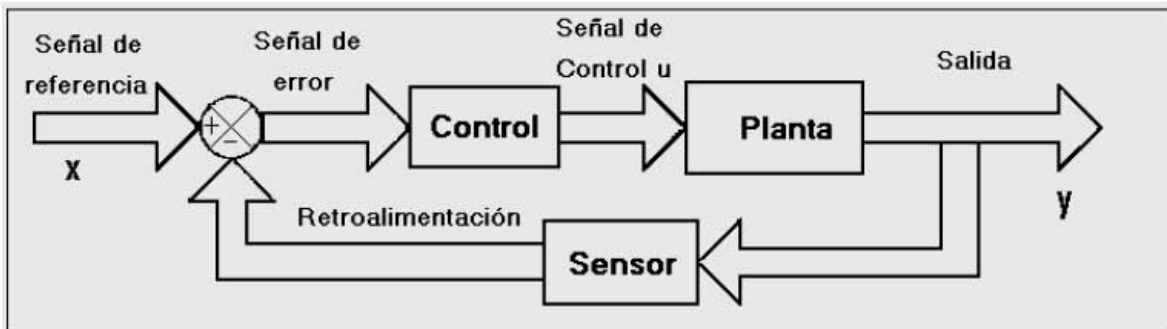


Figura 3.23. Diagrama a bloques de un control retroalimentado.

Una ventaja de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal del sistema de control en un lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

En un control retroalimentado, el controlador recibe la señal de error y genera una señal de control cuyo objetivo será reducir el error, o bien, mantenerlo en cero. La generación de esta señal de control involucra una decisión por parte del controlador, y esta decisión se toma con base a una estrategia ínterconstruida en el controlador. Los controladores se clasifican de acuerdo al tipo de estrategia que sigue para reducir el error.

### **3.5.1 TIPOS DE CONTROLADORES MÁS COMUNES:**

Controlador encendido-apagado (ON-OFF). Es el más simple. Se denomina así porque su salida sólo toma dos valores; encendido y apagado. Para ello simplemente determina cual es el signo del error y sobre esa base se genera la salida.

Controlador ON-OFF con histéresis. Con la finalidad de evitar la alta frecuencia de conmutación que se puede producir en los actuadores con un controlador, como el anterior, se realiza una modificación para proporcionarles un efecto de histéresis. Este control con histéresis tiene ahora dos umbrales en lugar de uno solo. Esto le permite separar las condiciones de encendido y apagado de manera tal que no se produzcan las excesivas oscilaciones encontradas en los controladores ON-OFF normales.

Controlador proporcional. Es un controlador lineal, a diferencia de los dos anteriores. En este tipo la acción de control es directamente proporcional al error. Se caracteriza porque al aumentar la constante de acción proporcional  $K_p$  aumenta la velocidad de respuesta del sistema; al aumentar  $K_p$  se disminuye el error en estado estacionario; si se aumenta demasiado  $K_p$  se puede volver inestable el sistema; y es incapaz de mantener el error en cero.

Controlador proporcional integral. Para poder eliminar el error en estado estacionario (offset) producido por el control proporcional se añade un elemento de acción integral, la cual permite que el error en estado estacionario se vuelva cero, sin embargo

presenta el inconveniente de volver más lenta la respuesta del sistema. Esto se debe a que el integrador le toma tiempo integrar la señal de error para producir la respuesta correcta capaz de eliminar el error. La velocidad de integración depende de la constante  $T_i$  (constante de tiempo de la acción integral), la cual está dada en segundos. Una constante muy grande hará más lento el sistema, pero una muy pequeña puede no ser suficiente para eliminar el error.

Control proporcional integral derivativo. La acción derivativa permite aumentar la velocidad de respuesta, por lo que aunada a las acciones proporcional e integral genera un controlador rápido y con cero error en estado estacionario. El modo derivativo no afecta el error en estado estable, pero proporciona una corrección rápida basada en la tasa del error; esto acelera la acción del controlador y compensa algunos de los retardos en el lazo de control. Sin embargo, amplifica el ruido de alta frecuencia; pudiendo con ello afectar a la variable controlada.

La acción derivativa es prácticamente inaplicable ante la presencia de ruido, este hace que la variable de control tome valores contrapuestos y máximos cuando la pendiente del ruido entra como señal de error.

### **3.5.2 CONTROLADOR A UTILIZAR.**

El controlador, como ya se mencionó, es el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Aunque el concepto de control ha permanecido invariable, su implementación física ha variado frecuentemente. Hace sólo algunos años los controladores se construían exclusivamente con componentes discretos, posteriormente se emplearon los microprocesadores que necesitaban circuitos adicionales como memorias y dispositivos de entrada/salida (E/S) sobre la misma tarjeta de circuito impreso. Actualmente, todos los elementos del controlador se incluyen en un solo circuito integrado e incorpora la mayor parte de los elementos que lo configuran. Su reducido tamaño minimiza el número de componentes y costo.

El sistema de control para la trampa de enfoque desarrollado es del tipo retroalimentado y se basa en el microcontrolador PIC16F877A.

El control consiste en un RTD como sensor de temperatura, a este se conecta la etapa de acondicionamiento de señal y esta a su vez al convertidor analógico digital, y un controlador proporcional que se encuentran implementados vía Software en el microcontrolador, formando éstos el núcleo de la etapa de control. Esta etapa utiliza la pantalla de LCD, el teclado matricial y las etapas de potencia para la válvula del gas criogénico y la resistencia de calentamiento.

El controlador genera una señal modulada por ancho de pulso (PWM de sus siglas en inglés Pulse Width Modulation) esta se pensaba implementar a través de la herramienta que contiene el microcontrolador pero la frecuencia mínima que se tiene con el modulo de PWM en el micro es de 1.22kHz con un cristal de 20 MHz y, se esta utilizando una frecuencia de 6Hz para la señal de control (PWM), esto para que sean ciclos exactos los que tome de la línea, por ejemplo, si se tiene un ciclo de trabajo del 50% deja pasar los ciclos de la señal de línea no importando donde inicia porque va a terminar exactamente en el mismo lugar por ser múltiplo de la frecuencia de 60 Hz. El ciclo de trabajo (D) se verifica siempre a través de la interrupción del temporizador 0 del PIC, este puede variar de 0% al 100% de 10% en 10%. Figura 3.24.

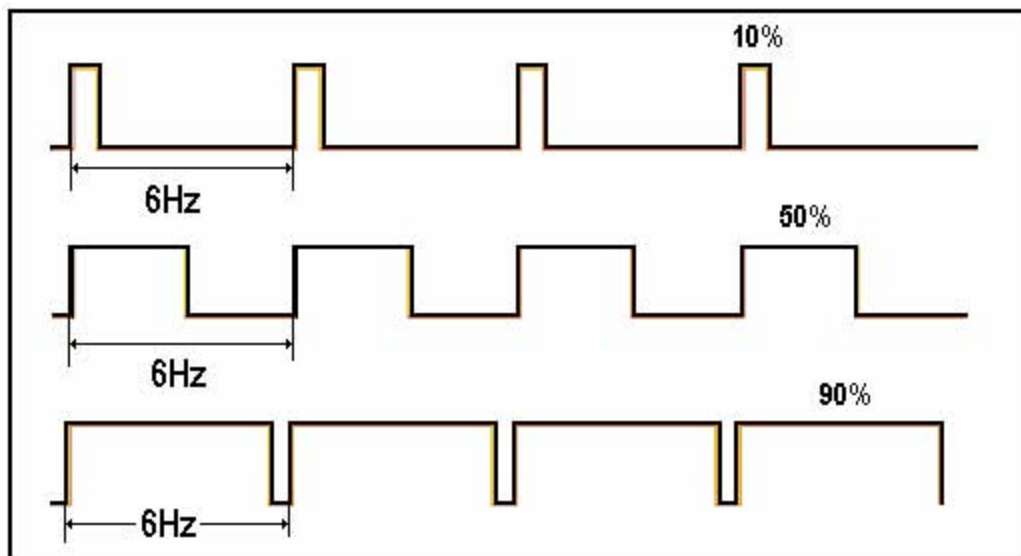


Figura 3.24. Señal de control variando el ciclo de trabajo (D)

Una de las ventajas de utilizar PWM es que la señal sigue siendo digital, no es necesaria la conversión digital a analógica., los efectos del ruido son reducidos al mínimo.

### 3.5.3 MEDICIÓN DEL TIEMPO.

Las temperaturas de enfriado como de calentamiento deben permanecer determinado tiempo programado por el usuario, para este fin se utiliza la herramienta integrada en el microcontrolador, el temporizador 1.

Se emplean dos bytes para segundos y minutos. La interrupción del temporizador 1 sucede cada segundo, cada vez que esto sucede se ejecuta el procedimiento que debe llevarse a cabo en intervalos de un segundo, esto es, el incremento del tiempo. Su funcionamiento se describe mediante el diagrama de flujo de la figura 3.25

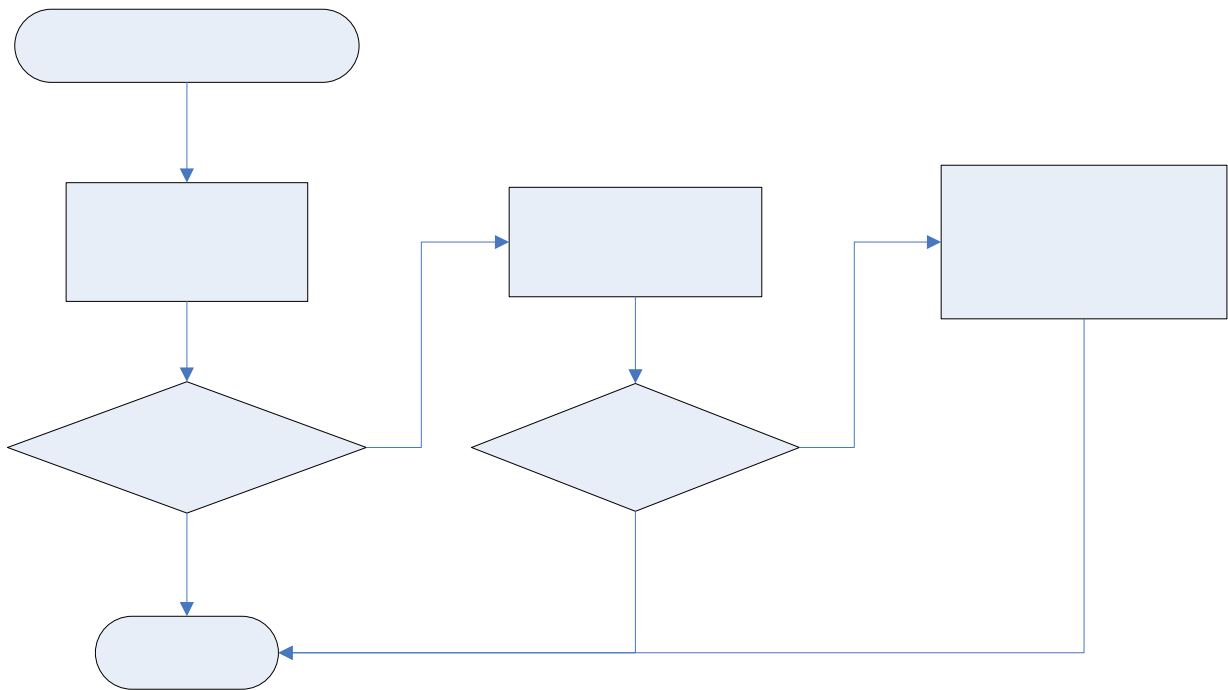


Figura 3.25. Diagrama de flujo del funcionamiento del incremento del tiempo.

El byte dedicado a almacenar la cuenta de segundos únicamente almacena valores comprendidos entre 0 y 59, por lo que al llegar a 60 se produce un acarreo de segundos a minutos. El byte para minutos llega hasta 20 y de ahí se detiene la cuenta e inicializa las variables utilizadas en cero.

## Incremento del Tiempo

$$\begin{aligned} \text{Segundos} &= \\ \text{Segundos} &+ 1 \end{aligned}$$

### 3.6.0 ETAPA DE POTENCIA.

Ya que se tiene la señal de control, tanto para enfriar como calentar, el siguiente paso es el diseño de la etapa de potencia para adecuar, y así poder controlar la temperatura de la trampa de enfoque en función de las señales de control.

La etapa de potencia se divide en dos partes: enfriar y calentar, en forma general es como se muestra en el siguiente diagrama a bloques. Figura 3.26

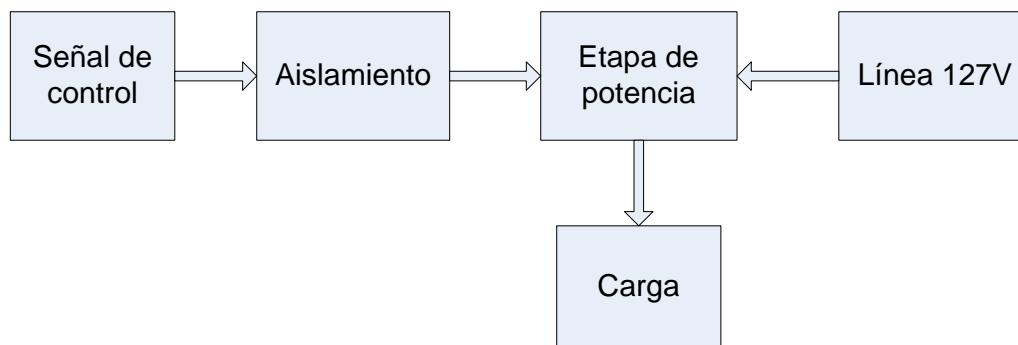


Figura 3.26. Diagrama a bloques de la etapa de potencia.

La señal de control proveniente del microcontrolador, es enviada a la etapa de potencia a través de un circuito de aislamiento, el cual sirve para proteger la parte digital y del circuito electrónico de la etapa de potencia.

### 3.6.1 CIRCUITO DE AISLAMIENTO.

El separar la etapa de control de la etapa de potencia es muy importante, ya que la corriente con que se trabaja en ambas es totalmente diferente, y el estar juntas puede provocar daños considerables e irreversibles al circuito electrónico de control; es necesario, por lo tanto, en un circuito de aislamiento, los circuitos están basados en transformadores u optoacopladores, para este propósito se utiliza la segunda opción porque tiene la ventaja de ser unidireccional (la señal va en un único sentido), el costo es mucho mas económico, por volumen y fiabilidad.

Un optoacoplador es un dispositivo semiconductor que se utiliza cuando se desea acoplar dos circuitos eléctricos sin hacer conexiones eléctricas (también llamados optoaisladores), que son componentes completamente electrónicos. El trayecto de la luz de emisor a detector, está totalmente encerrado en el componente y no se puede modificar en forma externa.

El grado de aislamiento eléctrico entre los dos dispositivos es controlado por los materiales en el trayecto de la luz y por la distancia física entre emisor y detector.

Se compone simplemente de un circuito integrado que contiene un LED (Diodo emisor de luz) infrarrojo y un fotodetector tal como un diodo de silicio, un par de transistores Darlington, un SCR (Rectificador Controlado de Silicio) o un TRIAC. La respuesta de longitud de onda de cada dispositivo se ajusta para que sea lo más idéntica posible y permite el mejor acoplamiento posible. Hay una capa de aislamiento transparente entre cada conjunto de elementos incrustada (no visible) para permitir el paso de la luz. Se diseñan con tiempos de respuesta tan pequeños que pueden emplearse para transmitir datos en el rango de megahertz.

De los diferentes tipos que existen en el mercado, se selecciona el fototriac modelo MOC3011, que consiste en un led acoplado con el fotodetector y un triac como se muestra en la siguiente figura. Figura 3.27.

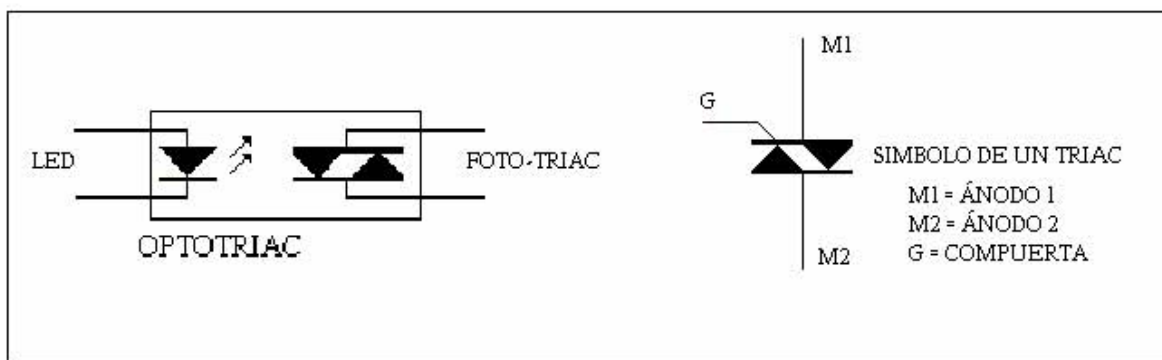


Figura 3.27. Símbolo del OPTOTRIAC y de un TRIAC

### 3.6.2 TRIAC (TRIode for Alternative Current)

El TRIAC es un dispositivo semiconductor (que pertenece a los llamados Tiristores o dispositivos de cuatro capas), que se utiliza mucho para el control de potencia, el cual presenta fiabilidad, duración, velocidad y bajo costo. Este dispositivo puede controlar corriente en cualquier dirección además de tener una tensión de ruptura alta y el procedimiento para que entre en conducción es a través de un pulso de disparo en la compuerta.

El TRIAC utilizado en el circuito de potencia es el TIC226D este tiene las siguientes características:

$I_{T(rms)}$ , la corriente rms máxima que puede operar el TRIAC es de 4A.

$V_{DRM}$  Voltaje de transición conductiva igual a 400V

$I_{GT}$ , que es la corriente de compuerta, esta vale 50 mA máxima.

Para la fase de enfriamiento, el circuito de potencia va a controlar la válvula de gas criogénico. Con este fin se consideró el siguiente circuito: Figura 3.28

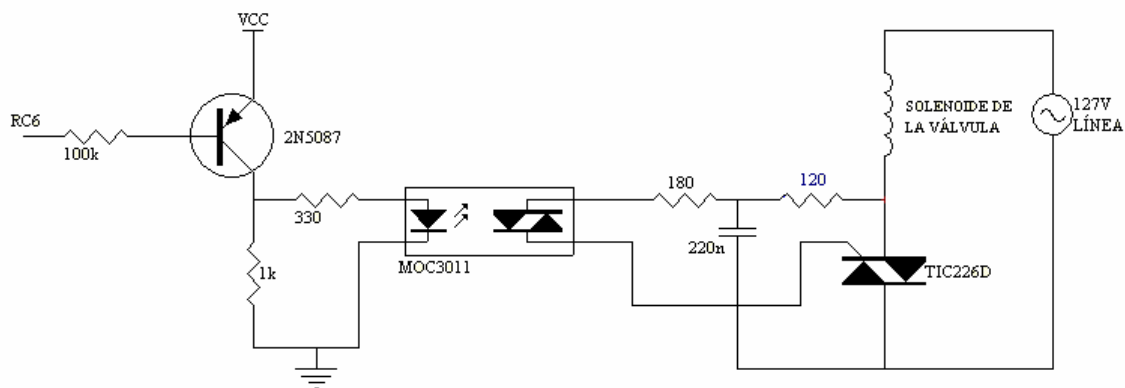


Figura 3.28. Circuito de control para enfriar. Energiza la válvula del gas.



La señal de control la entrega el microcontrolador a través del puerto C en la terminal RC6, se observa en la figura que la carga es inductiva por lo que es necesario el capacitor de 220nF.

Para calentar el sistema se utiliza una resistencia de 200W.

Para esta etapa de potencia se utilizo el siguiente circuito: Figura 3.29

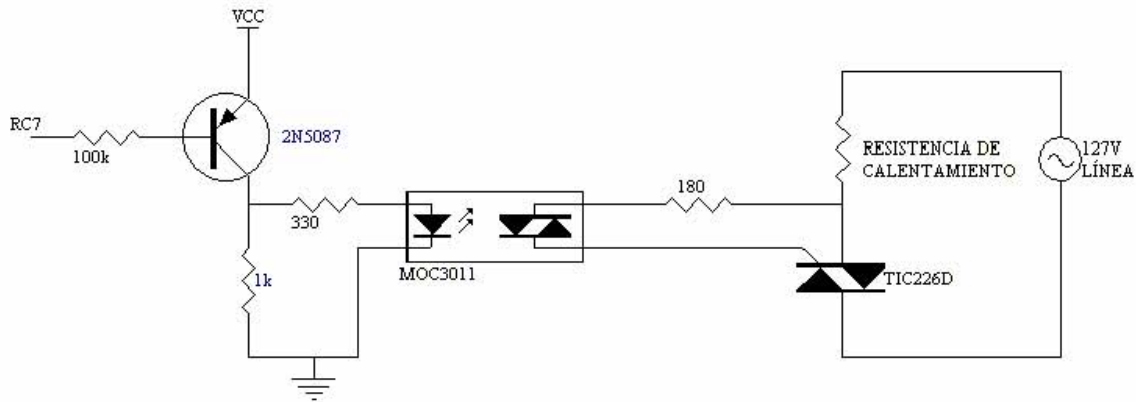


Figura 3.29. Circuito de control para calentar.

En esta etapa la señal de salida de control la entrega la terminal RC7 del microcontrolador, se observa en ambos circuitos que se aplica lógica negativa para no demandar del micro una sobre-corriente.

El fototriac que se eligió tiene la característica de detección de cruce por cero, sincroniza la señal digital de control y la fase de la línea. La falta de esta sincronización afecta en gran manera a la carga y a los dispositivos de potencia, que reducen su vida media de duración.

Esta etapa de potencia esta dada por paquetes de onda, es decir deja o no deja pasar un número determinado de períodos completos de corriente, dentro de un número total de períodos (Figura 3.30).

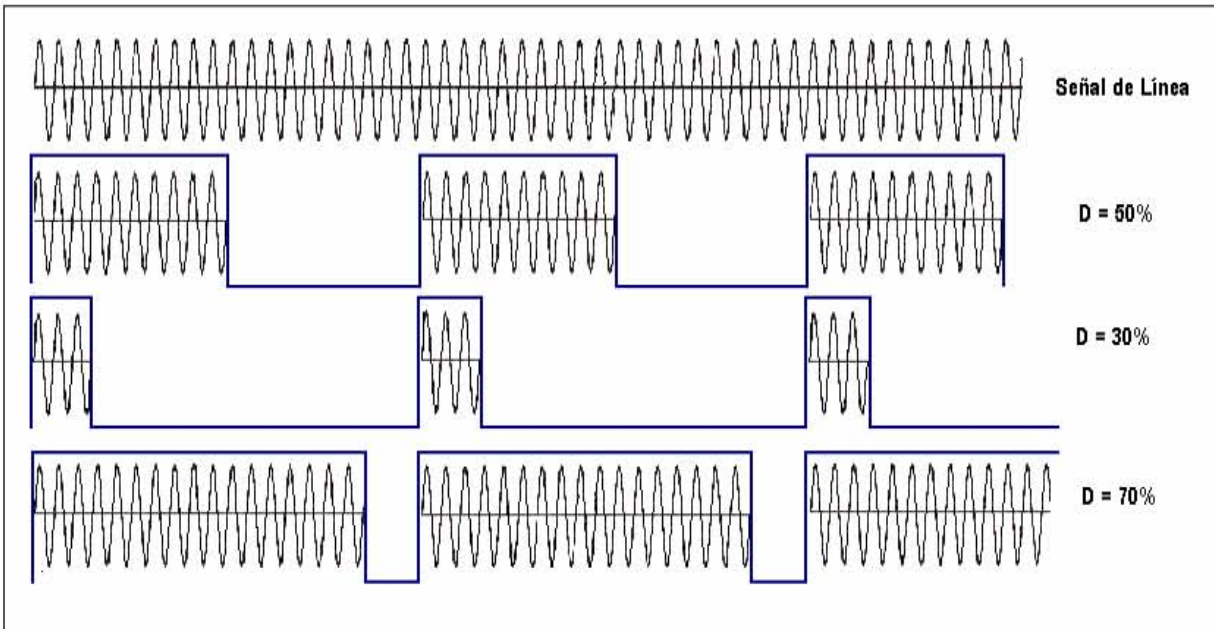


Figura 3.30. Formas de onda para el control de potencia.

### 3.7.0 ETAPA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA.

Para su funcionamiento, muchos de los dispositivos electrónicos necesitan voltajes de cd. Si bien las baterías son útiles en el caso de aparatos con bajo consumo de corriente cuando éstos son portátiles, su duración es limitada, a menos que se recarguen o se cambien. Por lo que se diseñara una fuente de ca a cd.

Es necesario reducir el voltaje nominal de 127V ca utilizando un transformador. Los voltajes de estos se dan en términos de valores rms.

Se debe convertir el voltaje de salida del transformador en un voltaje de dc. Lo que se logra mediante un puente de diodos rectificadores de silicio.

La fuente que se requiere es bipolar (positiva y negativa) por lo que la tierra se conecta al devanado central del transformador y cada una de las salidas del puente representa el voltaje, de esta forma se obtiene una fuente bipolar.

A la salida del puente se le conecta un capacitor. Este filtra y elimina el rizo resultado de la rectificación y produce un voltaje de cd en la salida casi totalmente puro.

Para tener una fuente regulada se requiere dispositivos que cumplan esa función:

- Voltajes que sean variables y ajustables
- Ofrecer un precio bajo a los usuarios

Las necesidades anteriores dieron lugar a la elección de la familia LM317 y LM337 de reguladores positivos y negativos ajustables de tres terminales, respectivamente. Son excelentes dispositivos que cuentan con todos los circuitos de protección interna.

El regulador de voltaje positivo ajustable LM317 sólo tiene tres terminales, y su instalación es sencilla, como puede observarse en la figura 3.31. El LM317 mantiene exactamente un voltaje de 1.25V entre sus terminales de salida y ajuste. A este voltaje se le ha denominado  $V_{ref}$  y puede variar de un circuito a otro, desde 1.20 a 1.30V. se conecta entre esas terminales una resistencia de  $240\Omega$ ,  $R_1$ , para conducir una corriente de  $1.2V/240\Omega = 5 \text{ mA}$ . Esta corriente de 5 mA fluye a través de  $R_2$ . Si esta es ajustable, la caída de voltaje a través de ella,  $V_{R2}$ , será igual a  $R_2 \times 5 \text{ mA}$ . El voltaje de salida del regulador se ajusta con  $V_{R2}$  más la caída de 1.2 V a través de  $R_1$ . En términos generales,  $V_o$  está expresada por:

$$V_o = \frac{1.2V}{R_1(R_1 + R_2)}$$

Normalmente  $R_1 = 240\Omega$ . Por lo tanto para obtener cualquier valor deseado de voltaje de salida, se ajusta  $R_2$  a un valor determinado por la ecuación:

$$V_o = \frac{1.2V}{(5mA)(R_2)}$$

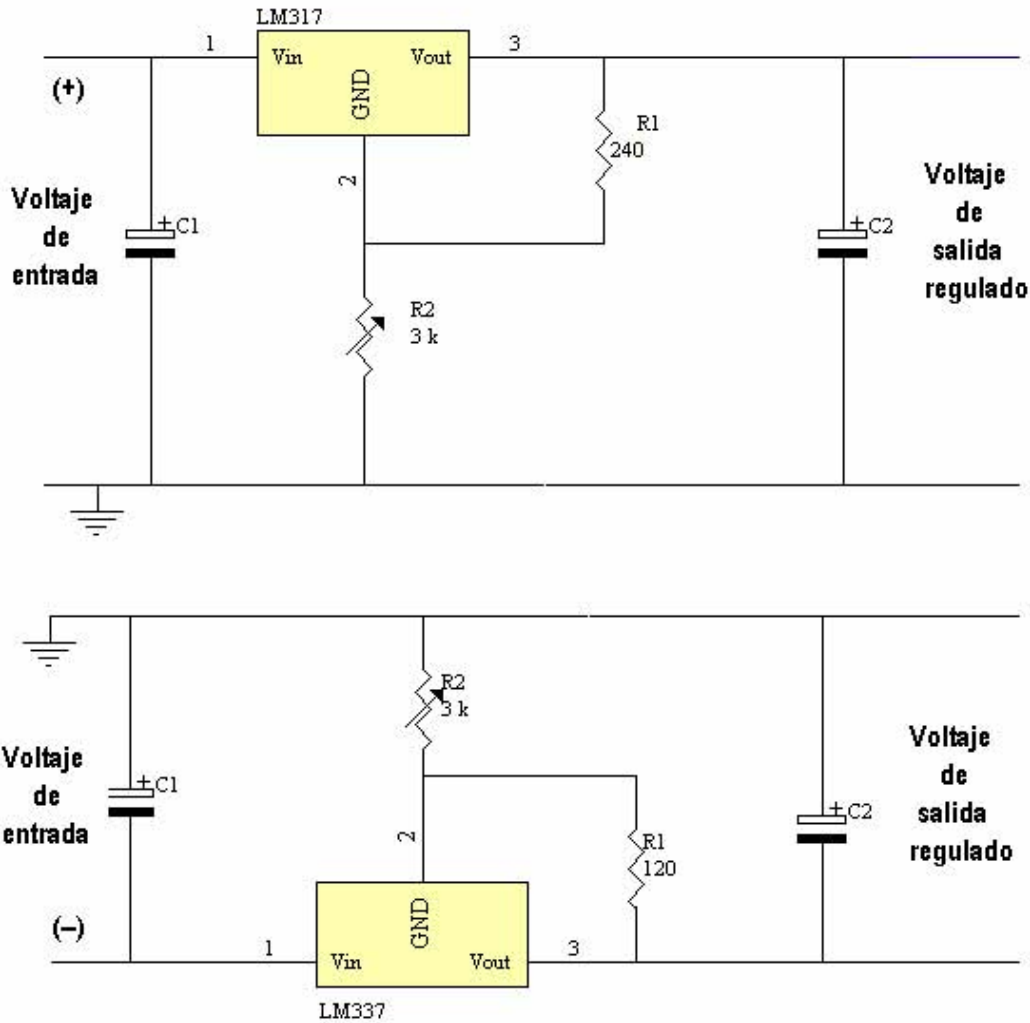


Figura 3.31. Conexión del LM317 y LM337 en una fuente bipolar

Esta fuente se regula a  $\pm 12$  V que es el voltaje con lo que se esta alimentando los circuitos analógicos, pero también se necesita un voltaje positivo de 5V, para el microcontrolador y otros dispositivos, para este fin se conecta otro regulador LM317K, a la salida de 12 V, pero se configura para que entregue en su salida 5 V, para la fuente de alimentación se eligen los siguientes valores;

- Un transformador 127 V a 24 V con derivación central.
- Diodos  $I_{prom} > 1A$  con un voltaje pico inverso  $PIV \geq 50V$
- Capacitares de  $1,000\mu F$  o mayor con voltaje  $\geq 50V$

El circuito de la fuente de alimentación para el sistema queda como se muestra en la figura 3.32.

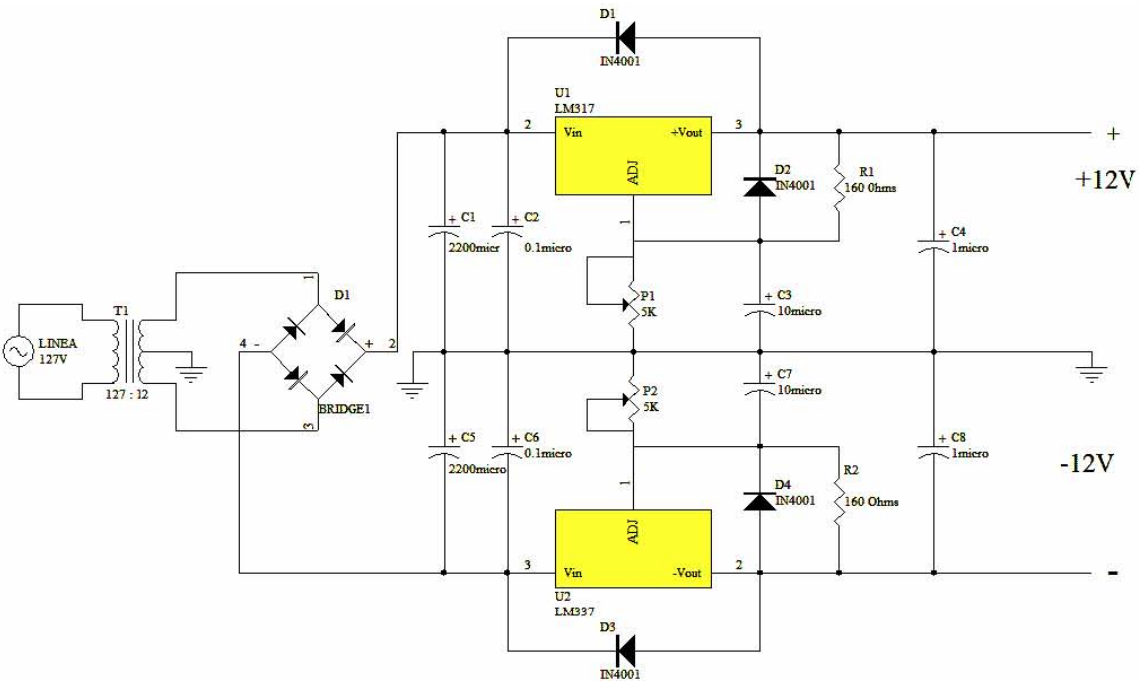


Figura 3.32. Fuente regulada a  $\pm 12$  V

Para el regulador de 5V se añade al circuito de la figura 3.33. La fuente para la parte digital se muestra en la siguiente figura. Figura 3.33.

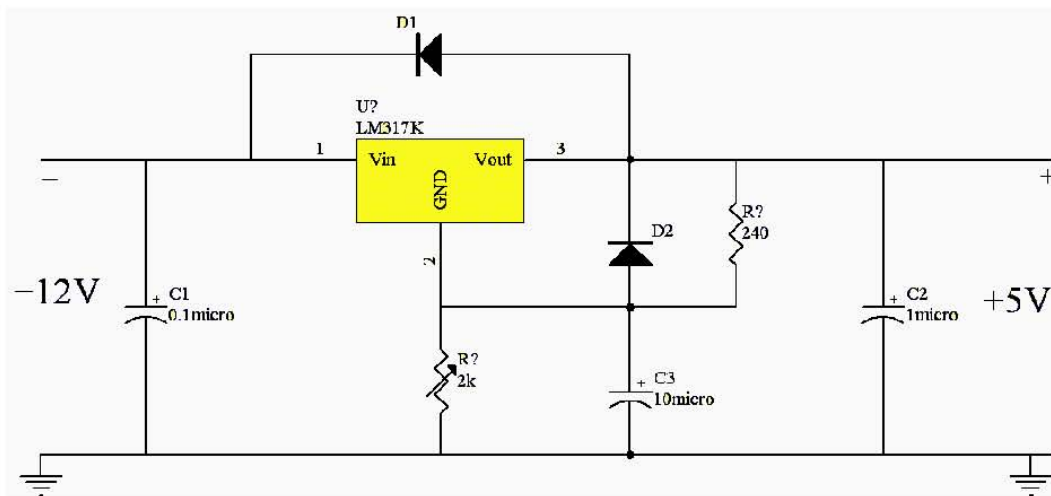


Figura 3.33. Fuente para la parte digital.

### 3.8.0 ETAPA DE DISEÑO DE LA TRAMPA DE ENFOQUE.

Consiste en una cámara de enfriado de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro y 5 pulgadas de largo, el tubo capilar pasa libremente en el centro de esta cámara, a través de un tubo guía donde se puede pasar desde un tubo de acero inoxidable de  $\frac{1}{6}$ " de diámetro hasta tubos de 0.53 mm. Alrededor del tubo guía se enreda la resistencia de calentamiento para proveer un calentamiento rápido, el RTD se une al tubo guía para que este proporcione la temperatura, tanto de enfriamiento como de calentamiento, esta temperatura se muestra en la pantalla LCD y se utiliza para el control de temperatura en el microcontrolador.

La entrada del gas criogénico se conecta vía una válvula especial, electrónicamente controlada, en la parte superior de la trampa, y por la parte inferior se dispersa este gas hacia la cámara del cromatógrafo de gases. Figuras 3.34 y 3.35.

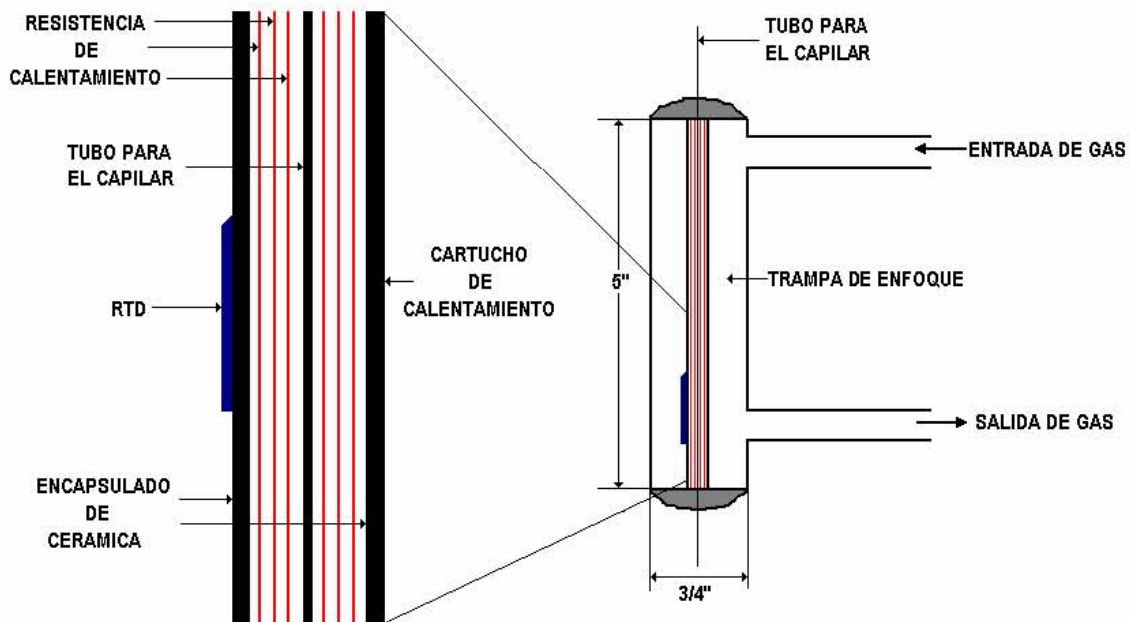


Figura 3.34. Forma de la trampa de enfoque.

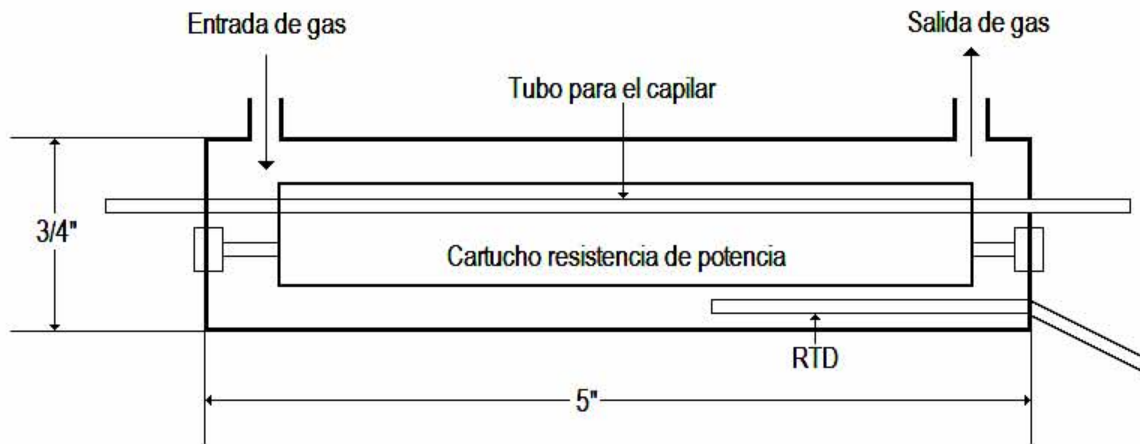


Figura 3.35. Forma de la trampa de enfoque.

### 3.9.0 EL PROGRAMA EN EL MICROCONTROLADOR

El programa para el microcontrolador fue realizado en el compilador MPLAB de MICROCHIP. En esta parte se describe por medio de diagramas de flujo la estructura y funcionamiento del programa.

La figura 3.36 indica el funcionamiento del programa centrado en tres partes principales. La primera parte es la configuración del microcontrolador, aquí se determina como los puertos, los temporizadores, la comunicación serial, y las interrupciones. La segunda parte es la programación del funcionamiento, donde se teclea los valores de las temperaturas y tiempos a los que debe permanecer cada temperatura. La tercera parte es cuando empieza todo el proceso de funcionamiento, en donde se lleva a cabo el control de la temperatura y mide los tiempos, se visualiza el proceso en la pantalla de cristal líquido.

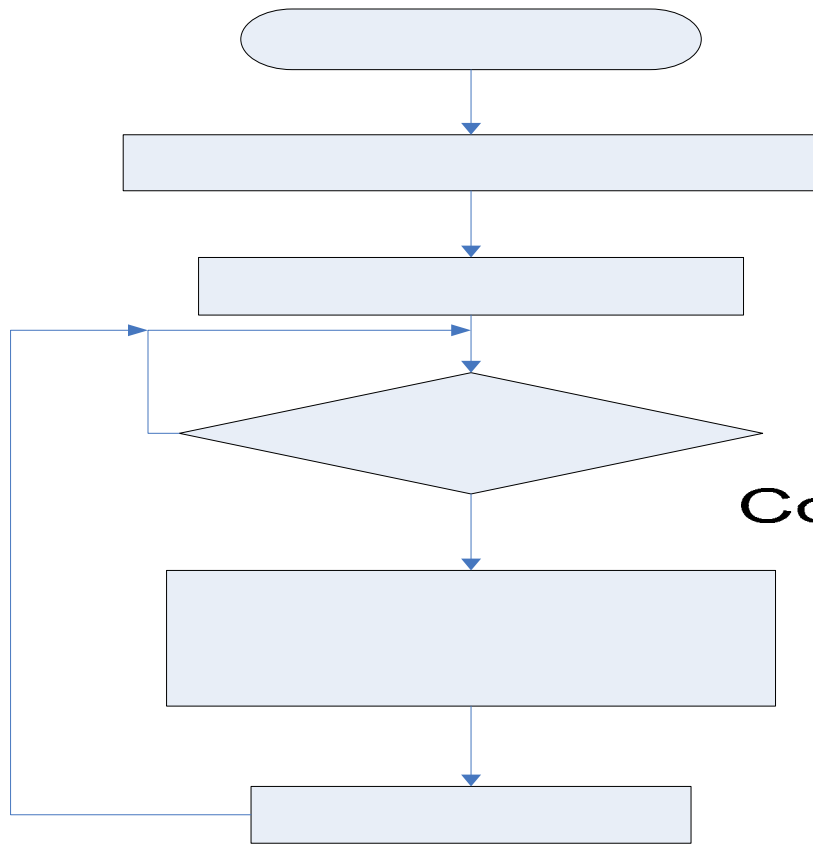


Figura 3.36. Diagrama de flujo de la estructura general del programa.

**NO**

El programa completo se muestra en el Apéndice A.

Progr

Configuración

Program

¿Empiez

Comien  
Mide t  
Mio  
Funci

63 Fin c



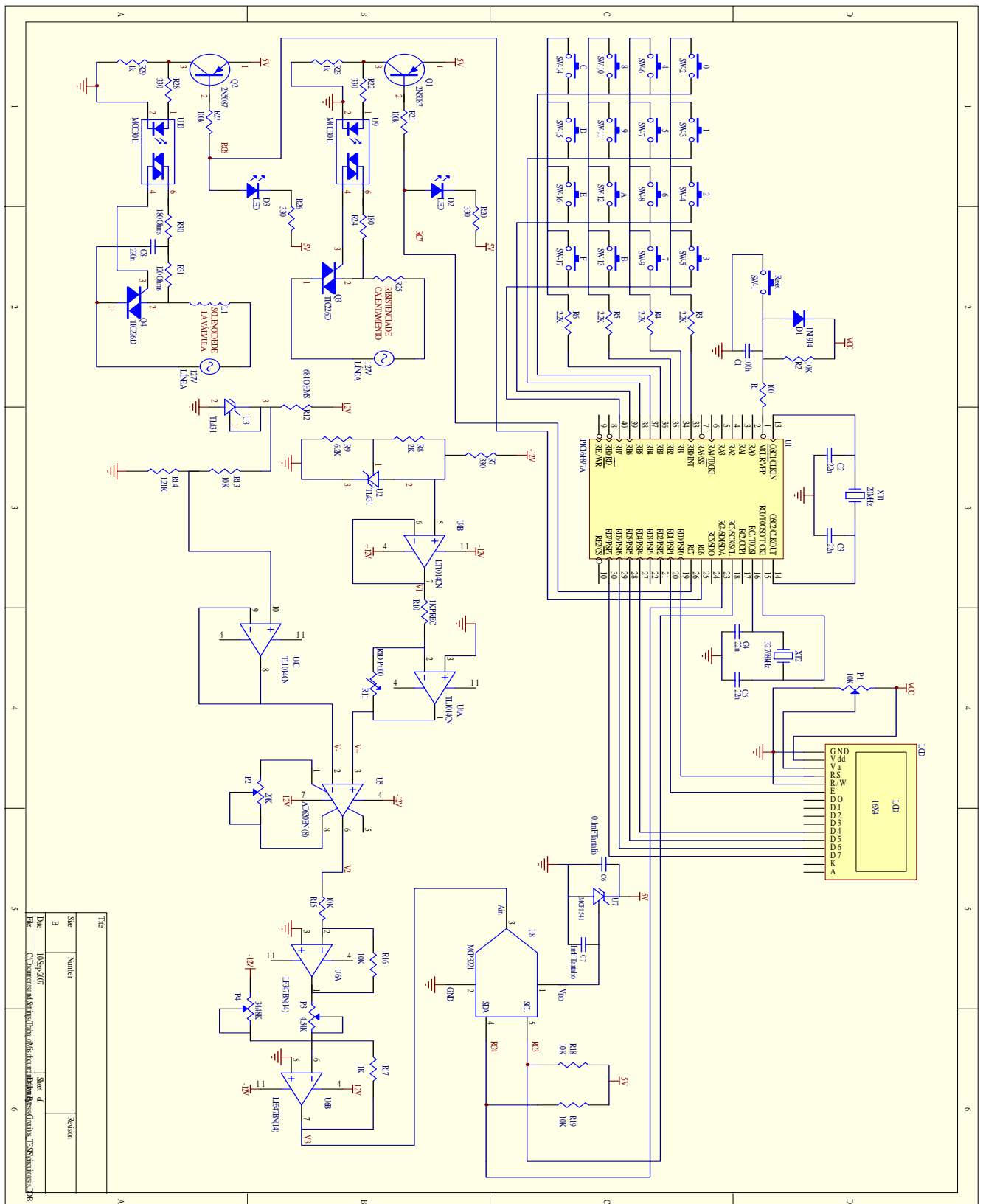


Figura 3.37. Diagrama del circuito completo.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

#### **4.1.0 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.**

En este capítulo se describen las pruebas hechas en cada una de las etapas, éstas se fueron analizando por partes, de acuerdo al avance en el proyecto. Es importante mencionar que se comprobó tanto la parte del circuito como del programa en el microcontrolador. Una vez verificado el funcionamiento correcto lo siguiente a hacer es pruebas en todo el sistema.

#### **4.1.1 ETAPA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.**

Antes de hacer cualquier prueba es necesario calibrar el sensor de temperatura (RTD), para este fin se hizo lo siguiente:

Uno de los mejores métodos para calibrar sensores de temperatura es utilizando una cuba de agua a temperatura controlada, figura 4.1, el principio de funcionamiento es hacer girar el agua constantemente calentándola a una temperatura mayor a la ambiente, garantizando de esta forma que el medio esta caliente uniformemente en una capa horizontal, se coloca un termómetro patrón y el RTD en el mismo lugar, con un sistema de adquisición de datos para realizar un registro de la información, después hacer la comparación y hacer una buena calibración del funcionamiento de nuestro sensor utilizando regresión lineal.



Figura 4.1. Cuba de agua para calibrar sensores de temperatura.

Las tablas de resistencia contra temperatura, dadas por el fabricante del RTD, fueron utilizadas para comprobar el funcionamiento del sensor.

De la tabla de resistencia del RTD se calculó la ganancia que tiene el circuito de acoplamiento, y el voltaje que entra al convertidor analógico-digital (CAD).

Para probar el funcionamiento de todo el circuito de acoplamiento en lugar del sensor de temperatura, se usó un potenciómetro de precisión fijando el valor de acuerdo a las tablas del sensor, midiendo con un multímetro el voltaje a la entrada del CDA, y observando en valor correspondiente en la pantalla, comparando estos dos valores, y calibrando el circuito hasta que estos dos valores leídos, multímetro, y CAD coincidieran.

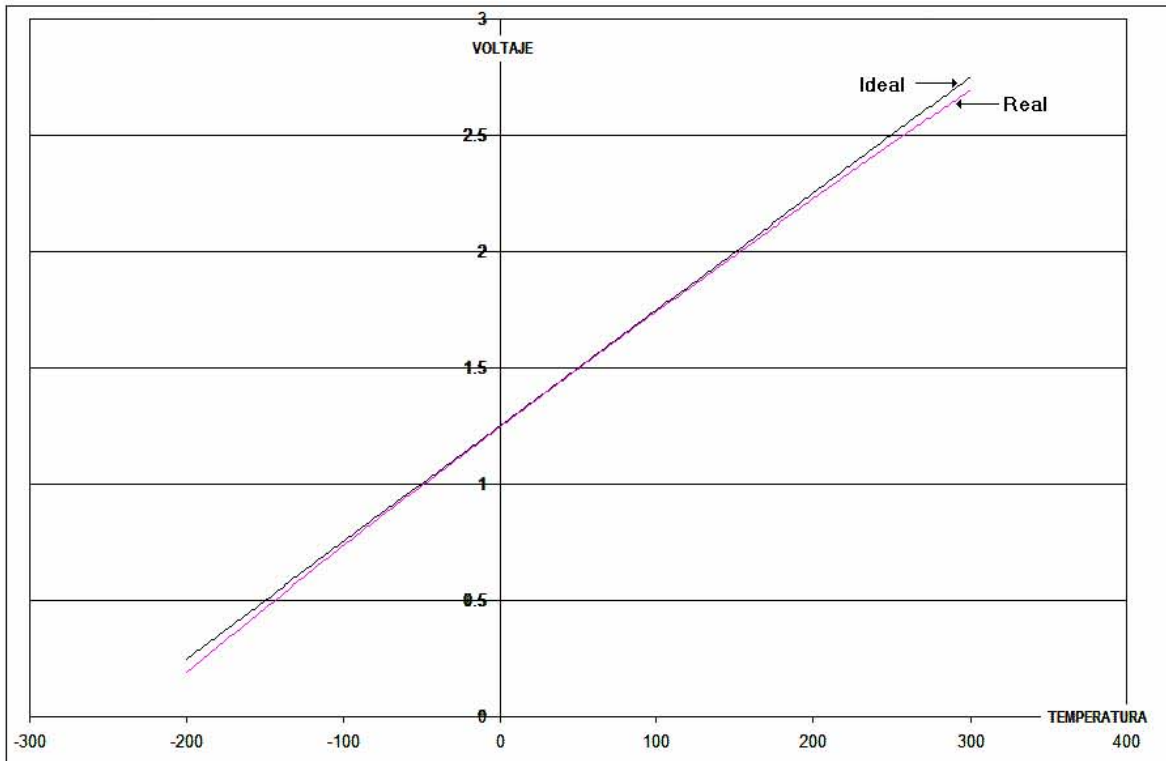


Figura 4.2. Comparación de datos ideales y reales de voltaje contra temperatura

Como indica la gráfica (figura 4.2) las rectas son muy parecidas, solo que a temperaturas muy bajas (resistencia baja) y temperaturas altas (mayores a 200°C) se separan las dos rectas, pero en el rango al cual va a trabajar el prototipo no representa un error significativo en la temperatura.

Otra prueba realizada, fue utilizar una barra de aluminio (figura 4.3), donde se colocó el RTD y otro termómetro patrón, bajando la temperatura a cero grados centígrados sumergiendo en hielo y dejando que llegara hasta temperatura ambiente se hizo una tabla de los datos de temperatura del RTD contra el termómetro patrón, como se esperaba tuvieron medidas similares mas no iguales, por lo que se procedió a mover la recta para tener una buena calibración de temperatura.

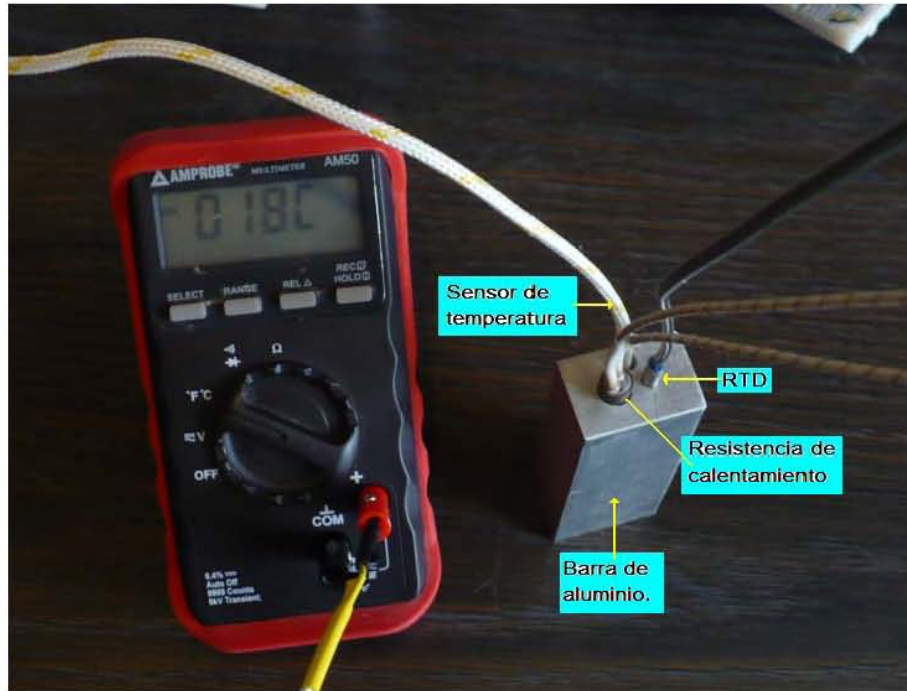


Figura 4.3. Calibración del sensor de temperatura usando una barra de aluminio.

Esta recta puede modificar tanto su pendiente como la ordenada al origen (offset), a través de los potenciómetros P3 y P4, (Ver figura 4.4), lo primero que se calibró fué su offset pero no coincidió lo que fue necesario calibrar la pendiente, con esta prueba se calibró el sensor junto con el circuito de acoplamiento en medir la temperatura real, que en este caso fué la de la barra de aluminio.

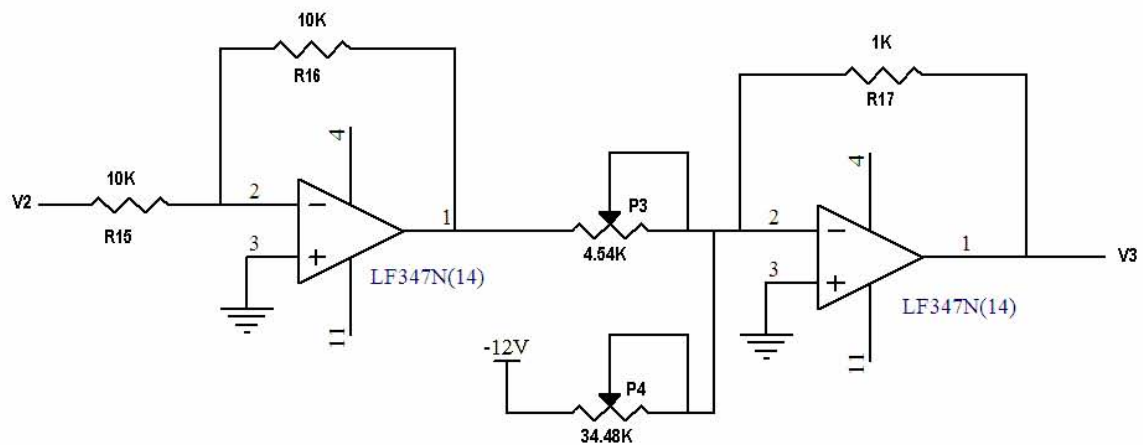


Figura 4.4. Circuito de acoplamiento de señal para ajustar la recta de temperatura.

Después, también se calentó usando una resistencia, y comprobando que el sensor junto con el circuito midiese correctamente la temperatura. Después de estas pruebas podemos afirmar que el circuito mide correctamente la temperatura, teniendo una variación de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.1.2 ETAPA DE PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN.**

Se divide en dos partes: el teclado matricial y la pantalla de cristal líquido. Para comprobar que funcionan correctamente se juntaron los programas de ambas partes, quedando de la siguiente manera; para el teclado:

- Verificar si se presionó alguna tecla.
- Comprobar si la tecla es numérica o alfabética.
- Si es numérica se imprime en la LCD y se guarda el dato en memoria.
- Si es alfabética estas son teclas de función, se realiza la función programada.

La pantalla de cristal líquido se conecta al PIC y éste se programó para que mostrase mensajes pidiendo las temperaturas y tiempos a utilizar en la trampa de enfoque, verificando que se vieran los valores de las teclas numéricas que se presionaron y las teclas de función no deben mostrarse en la LCD pero si hacen la función programada. Se considero que los mensajes deben imprimirse en la fila correspondiente y cada uno de los valores en la columna donde deben ir.

Se programó que los valores ya sea para las temperaturas o los tiempos, deben de ser de acuerdo a las especificaciones del instrumento; por ejemplo, la temperatura de calentamiento no puede ser mayor a 250 y si se teclea un valor mayor automáticamente el programa imprime un mensaje en la pantalla que pone en cero el número para volverlo a teclear, porque no es valido.

Esta etapa funcionó correctamente en cada una de sus partes.

### 4.1.3 ETAPA DE CONTROL.

La señal de control, como ya se mencionó, es a través de generar una señal de PWM, para comprobar su funcionamiento también se utilizó en lugar del RTD un potenciómetro que simulase los cambios de temperatura, midiendo con un osciloscopio la frecuencia de la señal de control que fuese de 6Hz, y con la ayuda del potenciómetro se verificó que el ciclo de trabajo variara correctamente, estas pruebas fueron comprobadas tanto para enfriar como para calentar (terminales RC6 y RC7 del PIC). Figura 4.5

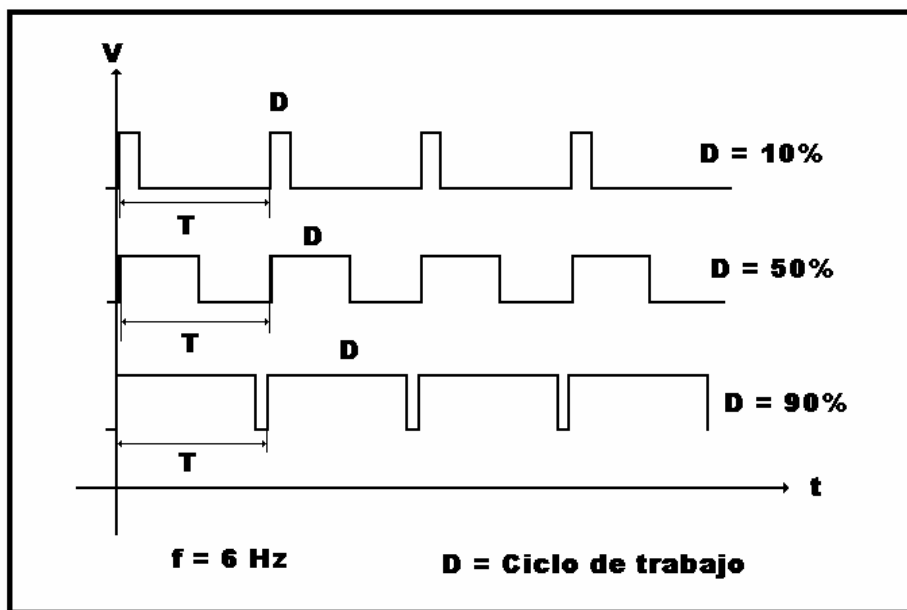


Figura 4.5. Señal de control y señal de línea variando el ciclo de trabajo (D), frecuencia de la señal PWM de 6Hz

### 4.1.4 ETAPA DE POTENCIA

Los circuitos de potencia se dividen en dos partes, la parte de aislamiento (el optoacoplador) y la parte de potencia (señal de línea), considerando esto el microcontrolador (señal PWM) fue conectado al circuito de aislamiento y el voltaje de la línea al circuito de potencia. Figura 4.6.

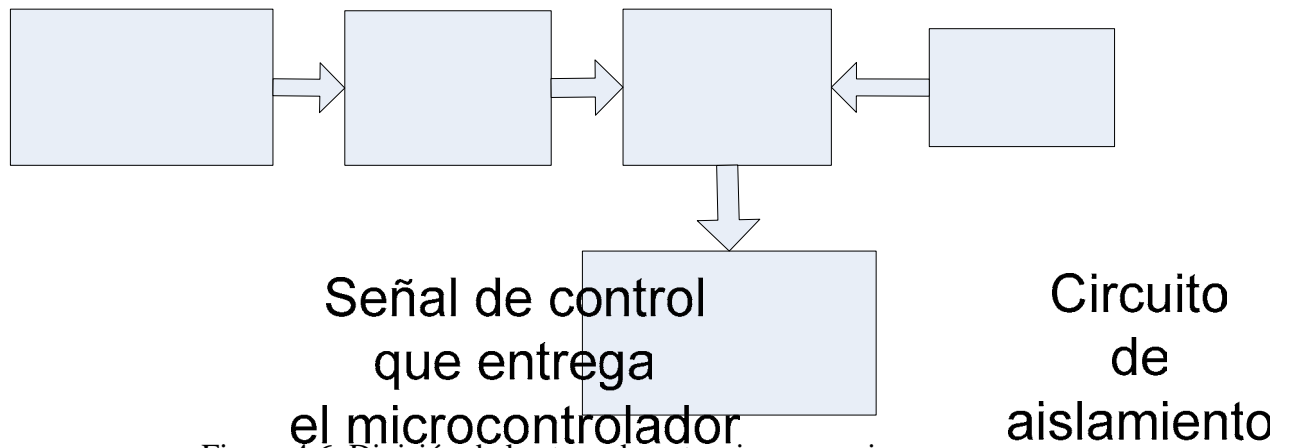


Figura 4.6. División de la etapa de potencia y conexiones.

Los circuitos de potencia están conectados respectivamente a la resistencia de calentamiento y a la válvula del gas criogénico, se les mando una señal de prueba a través del PIC y en lugar del RTD fue conectado un potenciómetro para simular cambios de temperatura, en el caso de la válvula se energizó el solenoide abriendo y cerrando la válvula de acuerdo al ciclo de trabajo que se deseaba, este ciclo de trabajo se observo en el osciloscopio, comprobando que funciona correctamente.

Ahora bien, para la resistencia de calentamiento lo que se hizo es algo similar, esta fue colocada dentro de una barra de aluminio, se mando la señal de control (PWM) para ver su funcionamiento con la resistencia el cual fue adecuado, dando como resultado el buen funcionamiento de las dos etapas de potencia. Figura 4.3.

#### 4.1.5 ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

En la fuente de alimentación se midieron los voltajes con un multímetro y un osciloscopio, esto para ajustar el voltaje exactamente y quitar lo más posible el rizo, a través de un capacitor, que funciona como filtro, esto mismo se hizo para la fuente de 5 volts. Colocando una carga resistiva y observando que la señal no variaba, ni presentaba rizo.



#### 4.1.6 PRUEBA DE TIEMPO

Para medir el tiempo se utilizó en el microcontrolador el temporizador, temporizador 1 del PIC, al cual se le conecta un cristal de 32.768KHz (XT2) para obtener un tiempo exacto de un segundo (figura 4.7).

Este temporizador es de 16 bits, se carga en los registros TMR1H y TR1L del PIC con el valor de 8000 Hex (32768 decimal) para que a este valor se desborde y entre la interrupción, dando así un segundo exacto. Para obtener este tiempo se tiene la siguiente ecuación:

$$t = \frac{XT2}{TMR1HTMR1L}$$

Donde XT2 es el cristal de cuarzo de 32.768KHz, TMR1H y TMR1L son registros de funciones especiales dentro del PIC, donde se especifica el valor de desbordamiento (32768) para que entre la interrupción del temporizador, el tiempo esta dado en segundos.

Sustituyendo valores da por resultado un segundo exacto que es la base de tiempo para hacer las mediciones, aunque en la práctica las mediciones son en minutos, esto también fue considerado en el programa para que al visualizar el tiempo coincida que después de sesenta segundos de un minuto, el tiempo máximo que se programó es a veinte minutos.

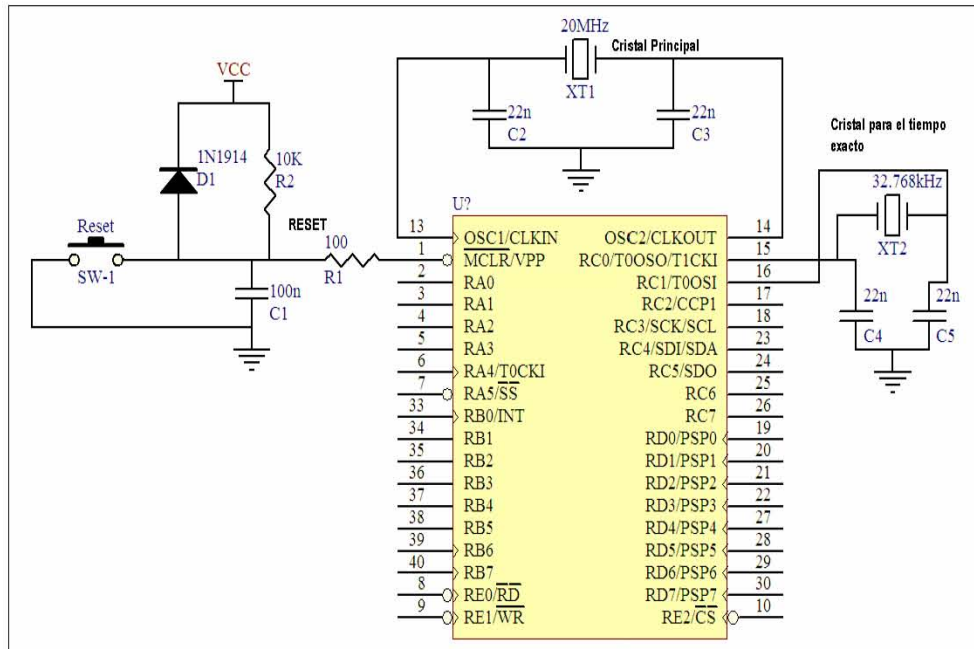


Figura 4.7. Conexión de microcontrolador con los cristales de cuarzo utilizados y RESET.

Después de probar cada etapa y comprobar que su funcionamiento es correcto, lo siguiente es unir todas las etapas y hacer pruebas del circuito completo.

#### 4.1.7 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA COMPLETO.

Conectando todo el circuito a la fuente de alimentación; el circuito de acondicionamiento de señal y el microcontrolador con sus periféricos, primero se probó con el transductor de temperatura (RTD), después de ingresar los datos e indicar al circuito que empiece el proceso, la temperatura que se midió fue la temperatura ambiente, lo que indica que funciona correctamente.

Para probar todo el sistema se conectó la trampa de enfoque a la válvula y gas criogénico observando que el sistema funcionaba como se tenía estipulado en el planteamiento inicial del proyecto.

## CAPÍTULO 5

### 5.0 DESCRIPCION TECNICA Y MANTENIMIENTO

En este capítulo se presenta una serie de tablas con las características y especificaciones del prototipo. A continuación se dan una serie de pasos a seguir para la realización del mantenimiento preventivo, y por último una guía rápida para detectar y poder corregir posibles fallas en el equipo.

#### 5.1.0 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

<b>Especificaciones de la trampa de enfoque</b>	
Rango de temperatura	-70°C a 250°C
Resolución	1°C
Velocidad de trabajo del microcontrolador.	20MHz
Convertidor analógico digital	12 bits

<b>Características eléctricas</b>	
Fuente de alimentación	127 Vca,
Etapas de alimentación del sistema.	±12 Vcd y 5 Vcd
Polarización etapa analógica: Medición de temperatura y acondicionamiento de señal.	±12 Vcd
Polarización etapa digital: Programación y visualización de información. Control.	5 Vcd
Polarización convertidor analógico digital	4.096Vcd
Etapas de potencia	127 Vca
Potencia máxima.	500W

## 5.2.0 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A continuación se presenta una serie de puntos, los cuales se recomienda revisar con periodicidad al utilizar el instrumento. Figura 5.1.

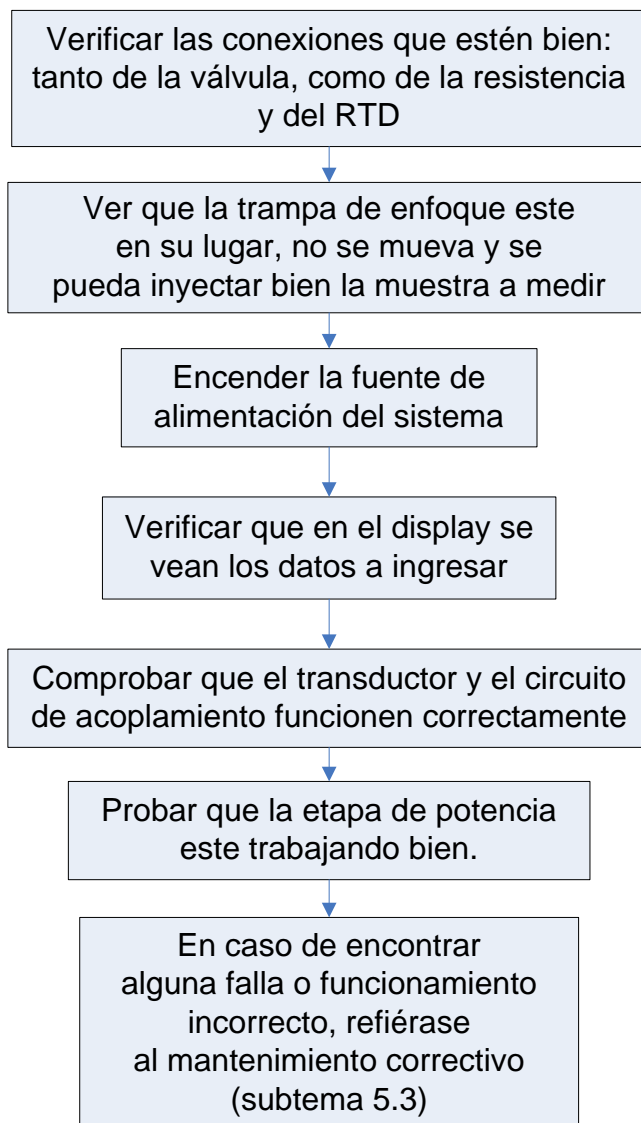


Figura 5.1. Pasos a seguir en el mantenimiento preventivo

### 5.3.0 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

A continuación se muestra una serie de posibles fallas, su localización en el sistema, así como el procedimiento para el diagnóstico.

<b>Falla presentada</b>	<b>Localización de la falla, verificación del funcionamiento.</b>
No enciende el sistema.	(a.1), (a.2), (a.3), (a.4)
No prende el LCD.	(a.1), (a.3), (d.1)
No mide temperatura.	(c.3)
La resistencia y la válvula no prenden.	(a.3), (g.1)

Fallas internas de funcionamiento del sistema.

<b>Falla presentada</b>	<b>Localización de la falla, verificación del funcionamiento</b>
No se puede ingresar datos al circuito.	(h.2), (e.1), (e.2)
La información del display no se ve.	(a.4), (d.1),(d.2), (d.3)
No mide temperatura.	(h.1), (h.2), (b.1), (b.2), (b.3), (b.4), (b.5), (c.1), (c.2)
La etapa de potencia no funciona.	(f.1), (f.2), (g.1), (g.2), (g.3)

### 5.4.0 PROCEDIMIENTO PARA EL DIAGNÓSTICO (puntos a verificar):

Para verificar los puntos que se mencionan referirse a los capítulos 3, 4 y 5 y para su localización en el diagrama eléctrico general (al final de este capítulo)

#### **a) Funcionamiento básico del instrumento: (Referencia: Subtema 5.1)**

- a.1.- Indicador luminoso de funcionamiento del sistema.
- a.2.- Fusible.
- a.3.- Revisar conexiones y cables de alimentación.
- a.4.- Voltajes de polarización del instrumento.

### **Etapa de medición de temperatura y acondicionamiento de señal.**

b) Circuito acondicionador de señal: (Referencia: Subtema 3.1.5)

b.1.- Voltaje de fuente fija a -10 V.

b.2.- Fuente fija a 270mV.

b.3.- Voltaje a la salida del amplificador de instrumentación.

b.4.- El circuito de acoplamiento de señal debe tener un voltaje menor a 5V.

b.5.- El convertidor analógico digital tenga un voltaje de 4.096V.

c) **Medición de temperatura.**

c.1.- A la salida del circuito de acoplamiento de señal tenga un voltaje de acuerdo a la temperatura del RTD.

c.2.- El convertidor analógico-digital funcione correctamente.

c.3.- Este correctamente la conexión del RTD.

### **Etapa de programación y visualización de información.**

d) **Visualización de información: (Referencia subtema 3.4.2)**

d.1.- La conexión del display con el circuito sea correcta.

d.2.- Verificar que tenga polaridad la pantalla de cristal líquido.

d.3.- Comprobar que se inicialice bien y mande los mensajes a utilizar.

e) **Programación de entrada del sistema. (Referencia subtema 3.4.1)**

e.1.- Que la conexión del teclado con el circuito principal (microcontrolador) sea la correcta.

e.2.- Oprimir alguna tecla y esta se visualice correctamente en el display.

f) **Etapa de control: (Referencia subtema 3.5)**

f.1.- Comprobar que las terminales RC6 y RC7 del PIC tenga señal de control.

f.2.- Medir que la frecuencia de la señal de control sea de 6Hz

**g) Etapa de potencia: (Referencia subtema 3.6.)**

- g.1.- Medir que tenga voltaje de línea.
- g.2.- Verificar que los optotriac funcionen correctamente.
- g.3.- La salida de esta etapa sea correcta de 127V cuando se mande una señal de prueba,  
( la señal se debe medir con carga.)

**h) Etapa de alimentación del sistema: (Referencia subtema 3.7.)**

- h.1.- Comprobar que la fuente doble tenga los voltajes de  $\pm 12\text{Vcd}$
- h.2.- Probar la fuente de 5Vcd.
- h.3.- Medir con la ayuda del osciloscopio que los voltajes sean continuos.

**Etapa de la trampa de enfoque.**

- i.1.- Esta debe estar fija al horno del cromatógrafo de gases.
- i.2.- Comprobar que el tubo capilar este correctamente conectado al puerto de inyección.
- i.3.- Revisar que las conexiones del gas criogénico estén bien.

## CONCLUSIONES

En general las expectativas del planteamiento y desarrollo de esta tesis se cubrieron. Se tiene un diseño práctico y cuyo funcionamiento es sencillo, se le puede dar mantenimiento fácilmente tanto correctivo como preventivo. El objetivo de no depender demasiado en cuanto al desarrollo de tecnología con el extranjero es bueno ya que la mayoría de sus componentes son de fácil adquisición en el mercado nacional y si se requiere pueden ser sustituidos sin problema por otros con características semejantes.

Con este trabajo se logro tener un mayor entendimiento en la amplia aplicación y funcionamiento de los microcontroladores logrando ver que tienen un gran campo de aplicación dependiendo del uso que se le quiera dar.

Durante la realización del diseño y construcción de la trampa de enfoque, se aprendió a seguir una serie de pasos y consideraciones practicas básicas que se deben tomar al realizar un prototipo, hacer algunos análisis de costos, saber interactuar con proveedores y lo mas importante que es la toma de decisiones y la responsabilidad de afrontar las consecuencias buenas o malas de esas acciones lo cual me dejo gratas satisfacciones.

Por último al leer y actualizar los conocimientos con que contamos nos llevan a superarnos, como ingenieros y mejores personas teniendo como consecuencia el obtener mejores resultados en el desarrollo laboral y vida personal.

### **Aportaciones para trabajos futuros.**

En un futuro algunas aportaciones y modificaciones que se propondrían sería variar el tamaño de la trampa haciendo pruebas de funcionamiento de acuerdo a las necesidades de los análisis a realizar para poder tener una mayor optimización del gas criogénico utilizado. El diseño se encuentra basado en la utilización de Dióxido de Carbono, pero si se requiere trabajar con Nitrógeno Liquido, se trabajaría la etapa de control para fijar los nuevos parámetros de programación, ya que el resto del sistema se encuentra diseñado para ambos gases.



## APÉNDICE A

Programa de la trampa de enfoque:  
Se utilizaron los siguientes MACROS:

### MACROS\_CRYO.INC

```

*****
;
;           M A C R O S   A   U T I L I Z A R
;
*****
BANK0      MACRO                                ; Selección del Banco 0
            BCF          STATUS,RP0
            BCF          STATUS,RP1
            ENDM

BANK1      MACRO                                ; Selección del Banco 1
            BSF          STATUS,RP0
            BCF          STATUS,RP1
            ENDM

ESCRIBE    MACRO      MSG                        ; Escribe en la posición deseada el carácter a la pantalla LCD
            MOVLW      LOW MSG
            MOVWF      PLCDL
            MOVLW      HIGH MSG
            MOVWF      PLCDH
            CALL       ESCRIBEMSG
            ENDM

*****
;
;           E F E C T O S   L C D
;
*****
LCD_LINE1  MACRO                                ; Línea 1 del LCD
            MOVLW      0X80
            CALL       CONTROL4
            ENDM

LCD_LINE2  MACRO                                ; Línea 2 del LCD
            MOVLW      0XC0
            CALL       CONTROL4
            ENDM

LCD_LINE3  MACRO                                ; Línea 3 del LCD
            MOVLW      0X90
            CALL       CONTROL4
            ENDM

LCD_LINE4  MACRO                                ; Línea 4 del LCD
            MOVLW      0XD0
            CALL       CONTROL4
            ENDM

LCD_CLR    MACRO                                ; Borra el cursor del LCD
            MOVLW      0X01
            CALL       CONTROL4
            ENDM

BORRAT     MACRO                                ; Borra todas las variables utilizadas para inicializar todo
            CLRF      SEG                        ; en ceros
            CLRF      MIN
            CLRF      ESTADO
            CLRF      DEC_L
            CLRF      DEC_H
            CLRF      RESULT2
            CLRF      RESULT3
            ENDM

```

### VARIABLES\_CRYO\_1.INC

```

*****
;

```

```

; Librería de las variables a utilizar en la trampa de enfoque.
;*****
;
;#DEFINE PWM_CRY PORTC,6 ; Variables utilizadas en el PUERTO C y D
;#DEFINE PWM_CAL PORTC,7
;#DEFINE RS_LCD PORTD,0
;#DEFINE E_LCD PORTD,1
;#DEFINE DIODO_CRY PORTD,2
;#DEFINE DIODO_CAL PORTD,3
;*****
; Definición de registros usados dentro del banco 0.
;*****
;
; CBLOCK 0X20
; BUFFMSG: 0X10 ; Inicio del buffer de 16 bytes para mensajes que se encuentran en la SRAM
; BUFFMSG1: 0X10 ; Inicio del buffer de 16 bytes para mensajes que se encuentran en la SRAM
; BETA ; Contador
; R0C ; Offset de la tabla
; TMP_ENTR ; Variable temporal para conversión de HEX_TO_ASCII
; TMP_SAL ; Variable para el valor en ASCII
; TECLA ; Variable para guardar el valor del teclado
; KEY_1 ; Del teclado para definir 4 columnas
; KEY_2 ; Temporal de TECLA
; DIG0 ; Variables para el valor numérico que se introduce por medio del
; DIG1 ; teclado
; DIG2
; Variables del teclado
; TEM_CRY_L ; Variable de temperatura cry (enfriar)
; TEM_CRY_H
; V_TCRY ; Variable para guardar el valor del tiempo de enfriado
; TEM_CAL_L ; Variables de temperatura de calentamiento
; TEM_CAL_H
; V_TCAL
; ESTADO ; Variable para verificar que entro la interrupción tmr1
; CONT_L ; Estas variables son para el contador ascendente para el reloj
; SEG ; Guarda el valor de los segundos
; MIN ; Guárdale valor de los minutos
; PLCDL
; PLCDH
; TEMPLCD1 ; Temporales para escribir en la LCD
; TEMPLCD2
; ERRO_R_H ; Variables para operación de control
; ERRO_R_L
; TEMPORALH ; Temporales para guardar el valor el valor del convertidor analógico digital
; TEMPORALL
; SET_POINT_CALH ; Set point de calentamiento, generalmente es de 250°C
; SET_POINT_CALL
; SET_POINT_CRYL ; Set point de enfriamiento
; ANCICLO ; Variables para generar la señal de PWM
; COPANCICLO ; Copia del ancho de ciclo
; CICTRA_CRY ; Ciclo de trabajo para enfriar
; COPCTRA_CRY ; Copia del ciclo de trabajo para enfriar
; CICTRA_CAL ; Ciclo de trabajo para calentar
; COPCTRA_CAL ; Copia del ciclo de trabajo para enfriar
; RESUL2
; RESUL3
; DEC_L ; Variables para preguntar si se llevo a la temperatura deseada
; DEC_H
; NUMERO ; Variables para hacer operaciones para el calculo del ciclo de trabajo.
; ENE
; SUMA
; ENDC ; Fin de las variables en el banco 0
; Variables en direcciones que son comunes a todos los bancos
; TMP_PCL EQU 0X7A

```

```

TEMP2      EQU    0X7B      ; Guarda el valor del TMP2 para no perder el dato
TMP_FSR    EQU    0X7C      ; Guarda el valor del FSR para no perder el dato
TMP_W      EQU    0X7D      ; Guarda el valor del STATUS para no perder éste dato
TMP_STATUS EQU    0X7E      ; Hace una copia del PCLATH para no perder éste valor
TMP_PCLATH EQU    0X7F

; Defino los bits del Byte "E S T A D O"
#define INCTIEM ESTADO,0    ; Se modifica en la interrupción.
#define TIEMPOCRY ESTADO,1  ; Pregunta si ya transcurrió el tiempo programado
#define TIEMPOCAL ESTADO,2
#define PWM_0 ESTADO,3     ; Se utiliza para la modulación PWM
#define DECISION4 ESTADO,4 ; Variables para hacer toma de decisión
#define DECISION5 ESTADO,5
#define SIGNO ESTADO,7

r EQU 1H
; Variables que están en el BANCO 1
CBLOCK 0XA0
; Variables del CAD
CONTHD ; Variable para conversiones HEX→DEC Y DEC→HEX
HEXL
HEXH
DECL
DECM
DECH
DECIH
DECIM
DECIL

ESTADO_1
G_PORTD
ASAML ; Variables para lectura del convertidor analógico digital y para manipular
ASAMH ; el dato leído
PROMEH
PROMEL
DESTL
DESTH
BETA1 ; Variables para cargar los buffers utilizados en la pantalla de LCD
R0C1
DELAYH ; Variables para retardos
DELAYM
DELAYL
; Declaración de Variables para Promedio
BUFF_ADC :D'20' ; Buffer del convertidor analógico digital
PUNTERO_MIN ; Puntero para escribir, leer y hacer el promedio
PUNTERO_ADC: 0x02
CONT_VUELTA ; Variables para hacer el promedio
CONT_ADC
TMP
TEMP_2
PROMH ; Variables para el promedio y hacer un respaldo de estos valores
PROML
R_PROMH
R_PROML
ENDC ; Fin de las variables que están en el banco1
#define DET_INER_0 ESTADO_1,0 ; Se modifica en la interrupción
#define DET_INER_1 ESTADO_1,1
#define DET_INER_2 ESTADO_1,2
#define COND_INIC ESTADO_1,3

```

```

;*****
;
;                               Programa principal de la Trampa de Enfoque
;*****
LIST      P=16F877A
INCLUDE   <P16F877A.INC>
INCLUDE   <MACROS_CRYO.INC>
INCLUDE   <VARIABLES_CRY_1.INC>
ERRORLEVEL 0, -302
;
; Configuro el PIC en la forma en que se esta utilizando
;   _CONFIG      _CP_OFF & _DEBUG_OFF & _WRT_OFF & _CPD_OFF & _LVP_OFF &
;   _BODEN_OFF & _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _HS_OSC
ON_DELAY = 0           ; Valores para simular sin entrar a los retardos
NO_DELAY = 1

T0VAL EQU   D'02'      ; Con este el temporizador 0 da una frecuencia de 6 Hz
n      EQU   D'10'
      ORG    0X00
      GOTO   INICIO
;*****
;
;                               I N T E R R U P C I Ó N
;*****
;
MOVWF    TMP_W          ; Respaldo los valores W, STATUS Y PCLATH y FRS
MOVWF    STATUS,W
MOVWF    TMP_STATUS
MOVWF    FSR,W
MOVWF    TMP_FSR
MOVWF    PCLATH,W
MOVWF    TMP_PCLATH
BCF      STATUS,RP0     ; Aseguro que es el BANCO 0
BCF      STATUS,RP1
BCF      STATUS,IRP
MOVLW   0X00           ; Posisiono el PCLATH hacia la primer pagina de la FLASH
MOVWF    PCLATH
BTFSS   PIR1,TMR1IF    ;Pregunta si la interrupción fue por el TMR1
GOTO    TIMER_0        ; Salta a la parte del TMR0
MOVLW   0X80           ; Valor que le cargo al TMR1 para que de un segundo
MOVWF    TMR1H         ; exacto con el cristal de 32.768KHz
CLRF    TMR1L         ; 8000H = 32768d
BSF     INCTIEM        ; Bandera que indica que la interrupción fue el TMR1
BCF     PIR1,TMR1IF    ;Borro la bandera de desbordamiento del TMR1
GOTO    INTER         ; Salta a finalizar la interrupción
TIMER_0
BTFSS   INTCON,TMR0IF  ; Pregunta si la interrupción fue por el TMR0
GOTO    INTER         ; si no que salte a fin de interrupción
BTFSC   PWM_0         ; Salta aquí si la interrupción fue el TMR0
GOTO    TERMINO       ; SALTA PARA
BSF     PWM_0
MOVWF   ANCICLO,W     ; Se hace una copia del ancho de ciclo
MOVWF   COPANCICLO    ; de la señal PWM
MOVWF   CICTRA_CRY,W  ; Se hace una copia del ciclo de trabajo
MOVWF   COPCTRA_CRY   ; De la señal PWM para enfriar
BCF     PWM_CRY
MOVWF   CICTRA_CAL,W  ; Se hace una copia del ciclo de trabajo
MOVWF   COPCTRA_CAL   ; De la señal PWM para calentar
BCF     PWM_CAL
TERMINO
DECFSZ  COPANCICLO,F  ; Decremento de la copia del ancho de ciclo
GOTO    OTRA_0
BCF     PWM_0
GOTO    INTER_1
OTRA_0

```

```

        DECFSZ    COPCTRA_CRY,F    ; Decremento del ciclo de trabajo para enfriar
        GOTO     $+2                ; Salta a OTRA_1
        BSF      PWM_CRY
OTRA_1  DECFSZ    COPCTRA_CAL,F    ; Decremento del ciclo de trabajo para calentar
        GOTO     INTER_1
        BSF      PWM_CAL
INTER_1 BCF       INTCON,TMR0IF    ; Borro la bandera para volver a interrumpir TMR0
        MOVLW   T0VAL              ; Cargo el valor de T0VAL al TMR0
        MOVWF   TMR0               ; Para la siguiente interrupción.
INTER   MOVF    TMP_PCLATH,W      ; Restauro los valores W, SATATUS, PCLATH Y FSR
        MOVWF   PCLATH
        MOVF    TMP_FSR,W
        MOVWF   FSR
        MOVF    TMP_STATUS,W
        MOVWF   STATUS
        SWAPF   TMP_W,F
        SWAPF   TMP_W,W
        RETFIE                      ; Regresa a la parte del programa donde llamo la interrupción.
;*****
;                               Configuro el microcontrolador en la forma que va a ser utilizado
;*****
INICIO  BANK1
        MOVLW   0X07                ; Deshabilito el comparador y selecciona entradas
        MOVWF   CMCON              ; analógicas
        MOVLW   0XFF                ; Configuro el puerto A como entradas
        MOVWF   TRISA
        MOVLW   0XF0                ; Configuro el puerto B para el teclado matricial
        MOVWF   TRISB
;                               Para la comunicación con I2C se necesitan los pines de RC3=SCL y RC4=SDA
        MOVLW   B'00000010'        ; Configuro el puerto C como entradas y salidas
        MOVWF   TRISC
        MOVLW   0X00                ; Configuro el puerto D para el display de LCD
        MOVWF   TRISD              ; para trabajar a 4 bit
        MOVLW   B'00000011'        ; Configura a trabajar el TMR0 a 1:16
        MOVWF   OPTION_REG
        MOVLW   B'11000000'        ; Habilito las interrupciones
        MOVWF   INTCON
        BANK0
        BCF     T1CON,TMR1ON        ; Deshabilito el TIMER1 para después de un RESET
        BCF     INTCON,TMR0IE      ; Deshabilito el TMR0
        ; Deshabilito todo para la siguiente
        MOVLW   D'200'              ; Cargo el ancho de ciclo con el valor a utilizar
        MOVWF   ANCILO
        BSF     PWM_CRY              ; PORTC,6
        BSF     PWM_CAL              ; PORTC,7
        BCF     DIODO_CRY           ; Indicador que esta trabajando enfriar
        BCF     DIODO_CAL           ; Indicador que esta trabajando calentar
        CLRF    ESTADO
        BANK1
        CLRF    ESTADO_1
;*****
        CLRF    DELAYL
        BANK0
        MOVLW   0X08                ; Pagina 1
        MOVWF   PCLATH
        GOTO    ENTR_DATOS

```

```

;*****
;
;          P          R          I          N          C          I          P          A          L
;*****
R0    MOVLW    0X00          ; Garantizo la página 0
      MOVWF    PCLATH
      MOVLW    D'200'      ; Cargo el ciclo de trabajo para enfriar en 100%
      MOVWF    CICTRA_CRY
      MOVLW    D'1'        ; Cargo el ciclo de trabajo para calentar en 0%
      MOVWF    CICTRA_CAL
      BSF     DIODO_CRY    ; Indico que esta trabajando la parte para enfriar
      BCF     DIODO_CAL    ; y que la de calentar esta apagado
      BSF     INTCON,TMR0IE ; Habilito el temporizador 0, que da la frecuencia para PWM
      BCF     DECISION5    ; Es para garantizar estos dos bits estén en cero
      BCF     DECISION4
      CALL    INIT_I2C     ; Inicializa la comunicación con I2C
      BANK1
      CLRF    HEXH        ; Borro las variables a utilizar que están en el BANCO 1
      CLRF    HEXL
      CLRF    ASAMH
      CLRF    ASAML
      CLRF    PROML
      CLRF    PROMH
      CLRF    PROMEL
      CLRF    PROMEH
      BANK0
PROG_PRINI ; Programa donde controla el enfriado
      BANK1
      MOVLW    n
      MOVWF    CONT_ADC   ; Preparo para los datos del CAD y después hacer el promedio
      MOVLW    BUFF_ADC
      MOVWF    PUNTERO_ADC
      CLRF    TEMP_2      ; Borra la variable TEMP_2
      BANK0
MAIN_1
      CALL    LEER_I2C     ; Toma el valor del CAD de I2C
      BANK1
      MOVF    PUNTERO_ADC,W ; La posición de PUNTERO_ADC se carga en el FRS
      MOVWF   FSR          ; para un direccionamiento indirecto
      MOVF    ASAMH,W     ; El valor alto del CAD se guarda en el buffer
      MOVWF   INDF
      INCF    PUNTERO_ADC,F ; Incrementa la posición del buffer
      MOVF    PUNTERO_ADC,W ; Direcciona indirectamente
      MOVWF   FSR
      MOVF    ASAML,W     ; El valor bajo del CAD se guarda en el buffer
      MOVWF   INDF
      INCF    PUNTERO_ADC,F
      DECFSZ  CONT_ADC,F   ; Pregunta si ya tiene los veinte valores del CAD
      GOTO   MAIN_1_1     ; No los tiene
      MOVLW  0X10         ; Si los tiene
      MOVWF   PCLATH      ; Se va a la página 3
      CALL   PROMEDIO     ; Va a la subrutina PROMEDIO: Esta se encuentra en la Pág. 3
      MOVLW  0X00         ; De regreso aseguro la página 0
      MOVWF   PCLATH
      MOVF    PROMH,W     ; Guarda el valor del promedio
      MOVWF   PROMEH
      MOVF    PROML,W
      MOVWF   PROMEL
      CLRF    PROMH
      CLRF    PROML
      BCF     STATUS,C    ; Multiplico por 2 el valor del promedio
      RLF    PROMEL,F
      RLF    PROMEH,F

```

```

MOVF      PROMEL,W           ; Se hace copia del valor para utilizarlo en el control y
MOVWF     R_PROML           ; visualizarlo en la pantalla LCD
MOVF      PROMEH,W
MOVWF     R_PROMH
; Se pasa este valor a decimal y quita el valor menos significativo para después hacer operaciones pero con
; el valor en hexadecimal
MAIN_1_1
BANK0
CALL      SALIDA_CAD_3       ; Manda el dato del convertidor al display
MOVLW    0X10               ; Página 2
MOVWF    PCLATH
CALL     CICLO_CRY          ; Selecciono el ciclo de trabajo a utilizar
MOVLW    0X00               ; Página 0
MOVWF    PCLATH
BTSS     TIEMPOCRY         ; Pregunta si ya se tienen las condiciones para correr el tiempo
CALL     LLEG_TEMP_CRY
CALL     SALI_TIEM         ; Pregunta si ya se cumplieron las condiciones
MOVF     V_TCRY,W          ; o que el tiempo de enfriado llegó a su fin.
SUBWF   MIN,W              ; Pregunta si el tiempo es igual al programado para enfriar
BTSS     STATUS,Z
GOTO     FIN_PRIN_1        ; El tiempo es igual
BANK1
MOVLW    0X00               ; El tiempo no es igual y prepara todo para tomar veinte
SUBWF   CONT_ADC,W        ; valores del CAD y hacer el promedio
BANK0
BTSS     STATUS,Z
GOTO     MAIN_1            ; Regresa porque no se tienen los veinte valores
GOTO     PROG_PRIN1       ; Regreso a leer nuevamente veinte valores del CAD
FIN_PRIN_1
BCF      TICON,TMR1ON      ; Deshabilito el temporizador1
BCF      TIEMPOCRY        ; Borro el bit para prepararlo para la próxima
;*****
; Termino de enfriar, esta parte controla el calentamiento.
;*****
R_2      BORRAT            ; Borra todas las variables a utilizar para que empiecen de cero
MOVLW    0X08              ; Página 1
MOVWF    PCLATH
LCD_LINE1
CALL     DELAY5            ; Retardo 5 ms
ESCRIBE  TEXT23            ; Escribe el texto en la LCD
CALL     LOAD_MSG5        ; Escribe el texto pero este cambia constantemente
CALL     OUT_MSG          ; Imprime en la LCD en mensaje
MOVLW    0X00              ; Página 0
MOVWF    PCLATH
MOVLW    D'200'           ; Cargo el ciclo de trabajo para calentar en 100%
MOVWF    CICTRA_CAL
MOVLW    D'1'             ; Cargo el ciclo de trabajo para enfriar en 0%
MOVWF    CICTRA_CRY
BSF      DIODO_CAL        ; Idico que esta trabajando para calentar
BCF      DIODO_CRY        ; y para enfriar no
PROG_PRIN2
BANK1
MOVLW    n
MOVWF    CONT_ADC         ; Preparo para los datos del CAD y hacer el promedio
MOVLW    BUFF_ADC
MOVWF    PUNTERO_ADC
CLRF    TEMP_2
BANK0
MAIN_2
CALL     LEER_I2C         ; Toma el valor del CAD de I2C
BANK1
MOVF     PUNTERO_ADC,W    ; La posición del PUNTERO_ADC se carga en el FSR

```

```

MOVWF FSR ; para un direccionamiento indirecto
MOVF ASAMH,W ; El valor alto del CAD se guarda en el buffer
MOVWF INDF
INCF PUNTERO_ADC,F ; Incrementa la posición del buffer
MOVF PUNTERO_ADC,W ; Direcciona indirectamente
MOVWF FSR
MOVF ASAML,W ; El valor bajo del CAD se guarda en el buffer
MOVWF INDF
INCF PUNTERO_ADC,F
DECFSZ CONT_ADC,F ; Pregunta si tiene los veinte valores del CAD
GOTO MAIN_2_1 ; No los tiene
MOVLW 0X10 ; Si los tiene
MOVWF PCLATH ; El PC se posiciona en la página 3
CALL PROMEDIO ; Va a la subrutina PROMEDIO. Esta se encuentra en la Pág. 3
MOVLW 0X00 ; De regreso aseguro la página 0
MOVWF PCLATH
MOVF PROMH,W ; Guarda el valor del promedio
MOVWF PROMEH
MOVF PROML,W
MOVWF PROMEL
CLRF PROMH
CLRF PROML
BCF STATUS,C ; Multiplico por 2
RLF PROMEL,F
RLF PROMEH,F
MOVF PROMEL,W ; Se hace copia del valor para utilizarlo con el control y
MOVWF R_PROML ; visualizarlo en la pantalla LCD
MOVF PROMEH,W
MOVWF R_PROMH
MAIN_2_1
BANK0
CALL SALIDA_CAD_3 ; Manda el dato del convertidor al display
MOVLW 0X10 ; Página 2
MOVWF PCLATH
CALL CICLO_CAL ; Selecciono el ciclo de trabajo a utilizar
MOVLW 0X00 ; Página 0
MOVWF PCLATH
BTFSZ TIEMPOCAL ; Preguntat si ya se cumplieron las condiciones
CALL LLEG_TEMP_CAL ; o que el tiempo de enfriado llegó a su fin
CALL SALI_TIEM ; Pregunta si empieza a correr el tiempo
MOVF V_TCAL,W
SUBWF MIN,W ; El tiempo llegó a su fin
BTFSZ STATUS,Z ; El tiempo no lleo a su fin y prepara todo para tomar veinte
GOTO FIN_PRIN_2 ; valores del CAD y volver hacer el promedio
BANK1
MOVLW 0X00
SUBWF CONT_ADC,W
BANK0
BTFSZ STATUS,Z
GOTO MAIN_2 ; Regreso porque no se tienen los veinte valores
GOTO PROG_PRIN2 ; Regreso a leer nuevamente vente valores del CAD
FIN_PRIN_2
BCF T1CON,TMR1ON ; Deshabilito el temporizador 1
BCF TIEMPOCAL
BCF INTCON,TMR0IE ; Deshabilito el temporizador 0
BSF PWM_CRY ; Deshabilito todo para la siguiente
BSF PWM_CAL
BCF DIODO_CRY
BCF DIODO_CAL
BCF DECISION4 ; Son para tomar la decisión para detener la
BCF DECISION5 ; Inercia de la resistencia de calentamiento.
BORRAT

```



```

BANK1
CLRF          ESTADO_1
BANK0
MOVLW        0X08          ; Pagina 1
MOVWF        PCLATH
GOTO         HYY          ; Pregunta si inicializa nuevamente el proceso
;*****
;
;          RELOJ
;*****
; INICIALIZA EL PIC PARA UTILIZAR EL TMR1      RELOJ 4 Y 20MHz
;*****
TIEMPO BANK1
BSF          PIE1,TMR1IE
BANK0
MOVLW        0X80          ; Este valor para que de 1 segundo exacto
MOVWF        TMR1H
CLRF         TMR1L
MOVLW        0X0B          ; Para que funcione el tmr1 con cristal externo
MOVWF        T1CON        ; de 32.768KHz
RETURN
;*****
SALI_TIEM          ; Imprime en la pantalla de cristal líquido el tiempo
BTFS          INCTIEM      ; transcurrido
CALL          INC_TIEM     ; Si existe incremento éste lo hace en la subrutina INC_TIEM
MOVF         SEG,W
ANDLW        0X0F
MOVWF        TMP_ENTR
MOVLW        0X08          ; Pagina 1
MOVWF        PCLATH
CALL         HEXTOASCII
MOVLW        0X00          ; Pagina 0
MOVWF        PCLATH
MOVF         TMP_SAL,W
MOVWF        BUFFMSG+D'13' ; Carga parte baja de segundos
SWAPF       SEG,W
ANDLW        0X0F
MOVWF        TMP_ENTR
MOVLW        0X08          ; Pagina 1
MOVWF        PCLATH
CALL         HEXTOASCII
MOVLW        0X00          ; Pagina 0
MOVWF        PCLATH
MOVF         TMP_SAL,W
MOVWF        BUFFMSG+D'12' ; Carga parte alta de segundos
MOVF         MIN,W
ANDLW        0X0F
MOVWF        TMP_ENTR
MOVLW        0X08          ; Pagina 1
MOVWF        PCLATH
CALL         HEXTOASCII
MOVLW        0X00          ; Pagina 0
MOVWF        PCLATH
MOVF         TMP_SAL,W
MOVWF        BUFFMSG+D'10' ; Carga parte baja de minutos
SWAPF       MIN,W
ANDLW        0X0F
MOVWF        TMP_ENTR
MOVLW        0X08          ; Pagina 1
MOVWF        PCLATH
CALL         HEXTOASCII
MOVLW        0X00          ; Pagina 0
MOVWF        PCLATH

```

```

MOVF      TMP_SAL,W
MOVWF    BUFFMSG+D'9'      ; Carga parte alta de minutos
MOVLW    0X08              ; Pagina 1
MOVWF    PCLATH
CALL     OUT_MSG          ; Imprime los valores cargados en el BUFFMSG
MOVLW    0X00              ; Pagina 0
MOVWF    PCLATH
RETURN

;*****
;INCREMENTO DE DIGITO PARA EL TIEMPO                                RELOJ
;*****
INC_TIEM                                ; Si ocurre una interrupción por parte del temporizador 2
BCF      INCTIEM              ; (TMR2) entra a esta subrutina, esta hecha de tal forma
INCF     SEG,F                ; que cuando pasan 59 segundos el siguiente segundo pasa
MOVF     SEG,W                ; ceros la cuenta de segundos y la de minutos se incremente
ANDLW    0X0F
SUBLW    0X0A
BTFSS    STATUS,Z
RETURN
MOVLW    0X06
ADDWF    SEG,F
MOVF     SEG,W
ANDLW    0XF0
SUBLW    0X60
BTFSS    STATUS,Z
RETURN
MOVLW    0X00
MOVWF    SEG
INCF     MIN,F
MOVF     MIN,W
ANDLW    0X0F
SUBLW    0X0A
BTFSS    STATUS,Z
RETURN
MOVLW    0X06
ADDWF    MIN,F
MOVF     MIN,W
ANDLW    0XF0
SUBLW    0X60
BTFSS    STATUS,Z
RETURN
MOVLW    0X00
MOVWF    MIN
RETURN

;*****
;SALIDA DEL CAD
;*****
SALIDA_CAD_3                            ; Imprime en la LCD el valor de la temperatura y hace
BANK1                                     ; operaciones para identificar si es positive o negative.
MOVF     R_PROML,W
MOVWF    PROMEL
MOVF     R_PROMH,W
MOVWF    PROMEH
MOVF     PROMEL,W
MOVWF    HEXL
MOVF     PROMEH,W
MOVWF    HEXH
BANK0
MOVLW    0X08              ; Pagina 1
MOVWF    PCLATH
CALL     HEX_TO_DEC16      ; Pasa el valor de hexadecimal a decimal
MOVLW    0X00              ; Pagina 0

```

	MOVWF	PCLATH	
	BANK1		; Elimino bit menos significativo
	SWAPF	DECL,W	
	ANDLW	0X0F	
	MOVWF	DECIL	
	SWAPF	DECM,W	
	ANDLW	0XF0	
	IORWF	DECIL,F	
	SWAPF	DECM,W	
	ANDLW	0X0F	
	MOVWF	DECIM	
	CLRF	DECIH	
	BANK0		
	MOVLW	0X08	; Pagina 1
	MOVWF	PCLATH	
	CALL	DEC_TO_HEX16	
	MOVLW	0X00	; Pagina 0
	MOVWF	PCLATH	
	BANK1		
	MOVF	HEXL,W	
	MOVWF	PROMEL	
	BANK0		
	MOVWF	TEMPORALL	; Para calcular el ciclo de trabajo (D)
	BANK1		
	MOVF	HEXH,W	
	MOVWF	PROMEH	
	BANK0		
	MOVWF	TEMPORALH	; Para calcular el ciclo de trabajo (D)
	BANK1		
	MOVLW	0XFA	
	SUBWF	PROMEL,W	; Pregunta si el valor es mayor a 250
	MOVWF	DESTL	
	MOVLW	0X00	
	BTSS	STATUS,C	
	MOVLW	0X01	
	SUBWF	PROMEH,W	
	MOVWF	DESTH	
	BANK0		
	BTSS	STATUS,C	
	GOTO	POSITIVO	
NEGATIVO			; Si el resultado es negativo
	MOVLW	"-"	; Entre comillas da el ASCII que sirve para el LCD
	MOVWF	BUFFMSG1+D'9'	; Carga el símbolo negativo en esta posición
	BCF	SIGNO	
	CALL	VALREAL	; Valor real de la temperatura
	GOTO	QUI	
POSITIVO			; Si el resultado es positivo
	MOVLW	"+"	; Entre comillas da el ASCII que sirve para el LCD
	MOVWF	BUFFMSG1+D'9'	; Carga el símbolo del signo en la posición
	BSF	SIGNO	
	BANK1		
	MOVF	DESTL,W	
	MOVWF	HEXL	
	MOVF	DESTH,W	
	MOVWF	HEXH	
QUI			
	BANK0		
	MOVLW	0X08	; Pagina 1
	MOVWF	PCLATH	
	CALL	HEX_TO_DEC16	; El valor hexadecimal lo convierte a su equivalente decimal
	MOVLW	0X00	; Pagina 0
	MOVWF	PCLATH	
	BANK1		

```

MOVF      DECL,W                ;SWAPF DECL,W
BANK0
ANDLW    0X0F
MOVWF    TMP_ENTR
MOVLW    0X08                ;Pagina 1
MOVWF    PCLATH
CALL     HEXTOASCII           ; Convierte el número a imprimir a su equivalente ASCII
MOVLW    0X00                ; Pagina 0
MOVWF    PCLATH
MOVF     TMP_SAL,W
MOVWF    BUFFMSG1+D'12'      ; Guarda en el buffer el valor menos significativo
BANK1
SWAPF    DECL,W
BANK0
ANDLW    0X0F
MOVWF    TMP_ENTR
MOVLW    0X08                ; Pagina 1
MOVWF    PCLATH
CALL     HEXTOASCII           ; Convierte a ASCII el valor a imprimir
MOVLW    0X00                ; Pagina 0
MOVWF    PCLATH
MOVF     TMP_SAL,W
MOVWF    BUFFMSG1+D'11'      ; Guarda en el buffer el valor medio de la temperatura
BANK1
MOVF     DECM,W
BANK0
ANDLW    0X0F
MOVWF    TMP_ENTR
MOVLW    0X08                ; Pagina 1
MOVWF    PCLATH
CALL     HEXTOASCII           ; Convierte a ASCII el valor a imprimir
MOVLW    0X00                ; Pagina 0
MOVWF    PCLATH
MOVF     TMP_SAL,W
MOVWF    BUFFMSG1+D'10'      ; Guarda en el buffer el valor mas significativo
MOVLW    0X08
MOVWF    PCLATH
CALL     OUT_MSG_3
MOVLW    0X00
MOVWF    PCLATH
;*****
BANK1
MOVF     DECL,W
MOVWF    DECIL
MOVF     DECM,W
MOVWF    DECIM
CLRF     DECIH
MOVF     DECIL,W
BANK0
MOVWF    DEC_L                ; DEC_L y DEC_H se utilizan para verificar si llego
BANK1                                ; a la temperatura deseada tanto para
MOVF     DECIM,W              ; enfriar como calentar.
BANK0                                ; los valores están en decimal
MOVWF    DEC_H
RETURN
;*****
; VALOR REAL PARA DESPLEGAR EN LA LCD
;*****
VALREAL                                ; Ésta subrutina entrega el valor real de la temperatura
BANK1                                ; hace operaciones de acuerdo al signo y valor de la
BTFS    DESTH,7                ; temperatura
GOTO     H_0_7

```

H_6	CALL	UNO
	BTFSC	DESTH,6
	GOTO	H_0_6
H_5	CALL	UNO
	BTFSC	DESTH,5
	GOTO	H_0_5
H_4	CALL	UNO
	BTFSC	DESTH,4
	GOTO	H_0_4
H_3	CALL	UNO
	BTFSC	DESTH,3
	GOTO	H_0_3
H_2	CALL	UNO
	BTFSC	DESTH,2
	GOTO	H_0_2
H_1	CALL	UNO
	BTFSC	DESTH,1
	GOTO	H_0_1
H_0	CALL	UNO
	BTFSC	DESTH,0
	GOTO	H_0_0
L_7	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,7
	GOTO	L_0_7
L_6	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,6
	GOTO	L_0_6
L_5	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,5
	GOTO	L_0_5
L_4	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,4
	GOTO	L_0_4
L_3	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,3
	GOTO	L_0_3
L_2	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,2
	GOTO	L_0_2
L_1	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,1
	GOTO	L_0_1
L_0	CALL	UNO
	BTFSC	DESTL,0
	GOTO	L_0_0
	CALL	UNO
SUMADEUNO		
	BCF	STATUS,Z
	INCF	HEXL,F
	BTFSC	STATUS,Z
	INCF	HEXH,F
	BANK0	
	RETURN	
UNO	BSF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	RETURN	
H_0_7	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	H_6
H_0_6	BCF	STATUS,C

	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	H_5
H_0_5	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	H_4
H_0_4	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	H_3
H_0_3	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	H_2
H_0_2	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	H_1
H_0_1	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	H_0
H_0_0	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_7
L_0_7	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_6
L_0_6	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_5
L_0_5	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_4
L_0_4	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_3
L_0_3	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_2
L_0_2	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_1
L_0_1	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	L_0
L_0_0	BCF	STATUS,C
	RLF	HEXL,F
	RLF	HEXH,F
	GOTO	SUMADEUNO

```

;*****
;PREGUNTA SI YA LLEGO A LA TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO
;*****
LLEG_TEMP_CRY
    MOVF      TEM_CRY_L,W
    SUBLW    0X00
    BTFSC    STATUS,Z
    GOTO     LLEGT
    BTFSC    SIGNO
    RETURN
LLEGT
    MOVF      TEM_CRY_L,W
    SUBWF    DEC_L,W          ; Valor decimal
    BTFSS    STATUS,Z
    RETURN
    MOVF      TEM_CRY_H,W
    SUBWF    DEC_H,W
    BTFSS    STATUS,Z
    RETURN
    BSF      TIEMPOCRY      ; Se pone en uno cuando empieza a correr el tiempo
    CALL     TIEMPO
    RETURN
;*****
;PREGUNTA SI YA LLEGO A LA TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO
;*****
LLEG_TEMP_CAL
    MOVF      TEM_CAL_L,W
    SUBWF    DEC_L,W
    BTFSS    STATUS,Z
    RETURN
    MOVF      TEM_CAL_H,W
    SUBWF    DEC_H,W
    BTFSS    STATUS,Z
    RETURN
    BSF      TIEMPOCAL      ; Se pone en uno cuando empieza a correr el tiempo
    CALL     TIEMPO
    RETURN
;*****
;
;          Esta rutina inicializa el módulo de MSSP
;          para I2C modo Master, con un reloj de 100 kHz.
;*****
INIT_I2C
    BANK1          ; Banco 1
    CLRF          SSPSTAT          ; Borra el registro de estado de la comunicación I2C
    BSF          SSPSTAT,SMP      ; Deshabilita el control de la razón de cambio para trabajar a 100 KHz
    MOVLW       D'49'          ; Carga 0x31 en el registro W
    MOVWF       SSPADD          ; Carga la dirección del dispositivo I2C
    CLRF          SSPCON2      ; Borra el registro de control de la comunicación I2C para empezar en blanco.
    BANK0          ; Banco 0
    MOVLW       0X28          ; Carga b'00101000' en el registro W
    MOVWF       SSPCON          ; Habilito SSP, selección del modulo I2C maestro
    BCF          PIR1,SSPIF      ; Borra la condición de interrupción
    BCF          PIR2,BCLIF      ; Prepara para que el dispositivo sea leído.
    RETURN
;*****
;
;          Hece la lectura del convertidor analógico digital
;*****
LEER_I2C
    BANK0
    CALL        BSTOP          ; Byte de parada
    CALL        CHECK_IDLE      ; Inactivo
    CALL        BSTART        ; Byte de inicio
    CALL        CHECK_IDLE      ; Inactivo

```

```

CALL      SendWrtAddr      ; Manda la dirección
CALL      CHECK_IDLE      ; Inactivo
CALL      StartReadDataHigh ; Recibe el Byte alto del convertidor analógico digital
CALL      CHECK_IDLE      ; Inactivo
CALL      SendReadAck      ; Byte bajo de reconocimiento
CALL      CHECK_IDLE      ; Inactivo
CALL      StartReadDataLow  ; Recibe el Byte bajo del convertidor analógico digital
CALL      CHECK_IDLE      ; Inactividad
CALL      SendReadNack     ; Manda un no-reco
CALL      CHECK_IDLE      ;
CALL      BSTOP           ; Envía bit de paro
CALL      CHECK_IDLE      ;
RETURN

;*****
;                               Subrutina del bit de salida
;                               Esta rutina genera una condición de la Salida
;                               (la transición alto-a-baja de SDA mientras SCL todavía es alto.
;*****
BSTARTBCF  PIR1,SSPIF      ; Borra la bandera de interrupción SSP
           BANK1          ; Selección del banco 1
           BSF            SSPCON2,SEN ; Geneta condicion de salida
           BANK0          ; Selección del banco 0
           BTFSS         PIR1,SSPIF  ; se completo la operación
           GOTO          $-1
           RETURN

SendWrtAddr ; Da la dirección a escribir
           BCF            PIR1,SSPIF
           MOVLW         B'10011011'
           MOVWF         SSPBUF
           BANK1
           BCF            SSPCON2,RCEN
           BANK0
           BTFSS         PIR1, SSPIF
           GOTO          $-1
           RETURN

BSTOP BCF      PIR1,SSPIF      ; Genera la condición de paro
           BANK1
           BSF            SSPCON2,PEN
           BANK0
           BTFSS         PIR1,SSPIF
           GOTO          $-1
           RETURN

CHECK_IDLE ; Mantiene unactivo el PIC hasta que termine la tarea a realizar
           BCF            PIR1,SSPIF
           BANK1
           BTFSC         SSPSTAT,R_W ;Pregunta se la transmisión esta en progreso
           GOTO          $-1
           MOVF          SSPCON2,W   ; Hace copia del SSPCON2
           ANDLW         0x1F
           BTFSS         STATUS, Z
           GOTO          $-3         ; El bus esta ocupado intentar de nuevo
           BANK0          ; Pasa al banco 0
           BCF            PIR1,SSPIF
           RETURN

StartReadDataHigh ; Manda leer al convertidor analógico digital parte alta
           BCF            PIR1,SSPIF
           BANK1
           BSF            SSPCON2,RCEN ; Genera condición para recibir
           BANK0
           BTFSS         PIR1,SSPIF
           GOTO          $-1
           MOVF          SSPBUF,W   ; Salva el Byte en W

```



```

        BANK1
        MOVWF    ASAMH
        BANK0
        RETURN
StartReadDataLow
        BCF     PIR1,SSPIF           ; Lee la parte baja del dato
        BANK1
        BSF     SSPCON2,RCEN         ; generate receive condition
        BANK0
        BTFSS   PIR1,SSPIF
        GOTO    $-1
        MOVF    SSPBUF,W             ; Salva el byte en W
        BANK1
        MOVWF   ASAML                ; Save MCP3221 low byte into ASAML FSR
        BANK0
        RETURN
SendReadNack
        BCF     PIR1,SSPIF           ; Lee un bit de reconocimiento
        BANK1
        BSF     SSPCON2,ACKDT        ; Envía el bit de reconocimiento
        BSF     SSPCON2,ACKEN        ; Inicia la secuencia de reconocimiento
        BANK0
        BTFSS   PIR1,SSPIF
        GOTO    $-1
        RETURN
SendReadAck
        BCF     PIR1,SSPIF           ;Leer un envío de un bit de reconocimiento
        BANK1
        BCF     SSPCON2,ACKDT        ; Envía el bit de reconocimiento
        BSF     SSPCON2,ACKEN        ; Inicia la secuencia de reconocimiento
        BTFSC   SSPCON2,ACKEN        ; Pregunta si se termino la secuencia de reconocimiento
        GOTO    $-1                 ; Todavía no termina la secuencia de reconocimiento
        BANK0
        BTFSS   PIR1,SSPIF          ; Banco 0, pasa aquí al terminar la secuencia de reconocimiento
        GOTO    $-1
        RETURN

```

```

;*****
;                               T A B L A   E N   F L A S H           P A G I N A   2
;*****

```

```

        ORG    0X800                ; Estas tablas son para imprimir en la pantalla LCD
LOAD_MSG1

```

```

        MOVLW   BUFFMSG1
        MOVWF   FSR
        MOVLW   0X10                ; 16 datos
        MOVWF   BETA
        MOVLW   0X00
        MOVWF   R0C

```

```

LOOP1  CALL    MSG1
        MOVWF   INDF
        INCF    R0C,r
        INCF    FSR,F
        DECFSZ  BETA,F
        GOTO    LOOP1
        RETURN

```

```

MSG1   MOVLW   0X08                ; Pagina 1
        MOVWF   PCLATH
        MOVF    R0C,W
        ADDWF   PCL,r
        DT      " = 000 BC "

```

```

LOAD_MSG2
        MOVLW   BUFFMSG1
        MOVWF   FSR

```

```

        MOVLW      0X10                ; 16 datos
        MOVWF     BETA
        MOVLW     0X00
        MOVWF     R0C
LOOP2   CALL      MSG2
        MOVWF     INDF
        INCF      R0C,r
        INCF      FSR,F
        DECFSZ   BETA,F
        GOTO     LOOP2
        RETURN
MSG2   MOVLW      0X08                ; Pagina 1
        MOVWF     PCLATH
        MOVF      R0C,W
        ADDWF     PCL,r
        DT        " = 00 min "
LOAD_MSG4
        MOVLW     BUFFMSG1
        MOVWF     FSR
        MOVLW     0X10                ; 16 datos
        MOVWF     BETA
        MOVLW     0X00
        MOVWF     R0C
LOOP4   CALL      MSG4
        MOVWF     INDF
        INCF      R0C,r
        INCF      FSR,F
        DECFSZ   BETA,F
        GOTO     LOOP4
        RETURN
MSG4   MOVLW      0X08                ; Pagina 1
        MOVWF     PCLATH
        MOVF      R0C,W
        ADDWF     PCL,r
        DT        "Tempera = 000BC "
LOAD_MSG5
        MOVLW     BUFFMSG
        MOVWF     FSR
        MOVLW     0X10                ; 16 datos
        MOVWF     BETA
        MOVLW     0X00
        MOVWF     R0C
LOOP5   CALL      MSG5
        MOVWF     INDF
        INCF      R0C,r
        INCF      FSR,F
        DECFSZ   BETA,F
        GOTO     LOOP5
        RETURN
MSG5   MOVLW      0X08                ; Pagina 1
        MOVWF     PCLATH
        MOVF      R0C,W
        ADDWF     PCL,r
        DT        "Tiempo = 00'00'"
,*****
        ORG      0X900
ENTR_DATOS
        BSF      PWM_CRY
        BSF      PWM_CAL
        NOP
        CALL     DELAY100            ; Tiempo de espera para estabilizar el LCD
        NOP

```

```

CALL          INILCD4          ;Prepara el LCD para ser utilizado a 4 bits y a 20MHz
BORRAT
BANK1
CLRF          ESTADO_1
BANK0
;*****
;ADORNO DEL PRINCIPIO ANTES DE EMPEZAR A CORRER EL PROG PRINCIPAL
;*****
LCD_LINE1    ;PARA QUE FUNCIONE DEBO INICIAR EN LA LINEA 1 DEL LCD
CALL        RETARDO          ;AUNQUE NO ESCRIBA NADA
LCD_LINE2
CALL        DELAY5
ESCRIBE     TEXT            ;CARGANDO
LCD_LINE3
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT1          ;PROCESO
ADORNO
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT20
LCD_LINE4
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT13
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT19
LCD_LINE4
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT14
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT18
LCD_LINE4
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT15
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT17
LCD_LINE4
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT16
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT16
LCD_LINE4
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT17
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT15
LCD_LINE4
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT18
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT14
LCD_LINE4
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT19
LCD_LINE1
CALL        RETARDO
ESCRIBE     TEXT13

```

```

LCD_LINE4
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT20
LCD_CLR
CALL      DELAY255
;*****
; este dato es para un mínimo de -70°C
LCD_LINE1
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT3           ; Temperatura de
LCD_LINE2
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT4           ; enfriado
CALL      LOAD_MSG1       ;" = 000 BC "
CALL      OUT_MSG_3
CALL      DATOS_CRY       ; Los datos a ingresar estan restringidos a condiciones iniciales
CALL      DATME1          ; Guarda en memoria el dato y el SET POINT
;*****
LCD_LINE1
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT2           ;Tiempo de
LCD_LINE2
CALL      RETARDO
ESCRIBE TEXT4           ;enfriado
CALL      LOAD_MSG2       ;" = 00 min "
CALL      OUT_MSG_3
CALL      DATOS_T         ; Los datos del tiempo están limitados a 60 min
CALL      DATME2          ; Guarda en memoria
;*****
LCD_LINE1
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT3           ; Temperatura de
LCD_LINE2
CALL      RETARDO
ESCRIBE TEXT5           ; calentamiento
CALL      LOAD_MSG1       ;" = 000 BC "
CALL      OUT_MSG_3
CALL      DATOS_CAL
CALL      DATME3          ;Guarda los valores en memoria y en el SET POINT
;*****
LCD_LINE1
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT2           ; Tiempo de
LCD_LINE2
CALL      RETARDO
ESCRIBE TEXT5           ; calentamiento
CALL      LOAD_MSG2       ;" = 00 min "
CALL      OUT_MSG_3
CALL      DATOS_T         ; Datos del tiempo limitados a 60 min
CALL      DATME4          ; Guarda en memoria
LCD_CLR
;*****
HYY LCD_LINE1
CALL      DELAY5
ESCRIBE   TEXT21
LCD_LINE2
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT6           ; "EMPEZAR"
LCD_LINE3
CALL      RETARDO
ESCRIBE   TEXT7           ; "A ENFRIAR"
H_ZZ CALL      KEY_SCAN

```

```

MOVF      TECLA,W
SUBLW    0X0A
BTFS    STATUS,Z
GOTO     H_ZZ
;*****
R0_1  BORRAT
LCD_CLR
LCD_LINE1          ; Tempe. Tiempo
CALL      DELAY5
ESCRIBE    TEXT22          ; Emfriando...
CALL      LOAD_MSG5        ; Tiempo = 00'00"
CALL      OUT_MSG
CALL      LOAD_MSG4        ; tempera = 000BC
CALL      OUT_MSG_3
MOVLW    0X00
MOVWF    PCLATH
GOTO     R0
;*****
;GUARDA LOS DATOS DEL TECLADO
;*****
DATME1
MOVF      DIG0,W
MOVWF    TEM_CRY_L
SWAPF    DIG1,W
IORWF    TEM_CRY_L,F
MOVF      DIG2,W
MOVWF    TEM_CRY_H
MOVF      TEM_CRY_L,W
BANK1
MOVWF    DECIL          ; El dato guardado de la temperatura es mi SET POINT
BANK0
MOVF      TEM_CRY_H,W
BANK1
MOVWF    DECIM          ; Por lo que lo debo de guardar pero antes debo de
CLRF      DECIH          ; Convertirlo a hexadecimal para utilizarlo dentro del PIC
BANK0
CALL      DEC_TO_HEX16
BANK1
MOVF      HEXL,W
BANK0
SUBLW    0XFA
MOVWF    SET_POINT_CRYL ; Valor de la temperatura de cryo en hexadecimal
RETURN
;*****
DATME2
MOVF      DIG0,W          ;Guarda en memoria el valor seleccionado en la
MOVWF    V_TCRY;          variable V_TCRY
SWAPF    DIG1,W
IORWF    V_TCRY,F
RETURN
;*****
DATME3
MOVF      DIG0,W          ; Guarda en memoria el SET POIN para calentamiento
MOVWF    TEM_CAL_L
SWAPF    DIG1,W
IORWF    TEM_CAL_L,F
MOVF      DIG2,W
MOVWF    TEM_CAL_H
MOVF      TEM_CAL_L,W
BANK1
MOVWF    DECIL
BANK0

```

```

    MOVF      TEM_CAL_H,W
    BANK1
    MOVWF    DECIM
    CLRF     DECIH
    BANK0
    CALL     DEC_TO_HEX16
    BANK1
    MOVF     HEXL,W
    BANK0
    ADDLW   0XFA
    MOVWF   SET_POINT_CALL
    BANK1
    MOVF     HEXH,W
    BANK0
    BTFSC   STATUS,C
    CALL    SUMAAA
    ADDLW   0X00
    MOVWF   SET_POINT_CALH
    RETURN
SUMAAA
    BANK1
    INCF    HEXH,W
    BANK0
    RETURN
,*****
;
DATME4                                     ; Guard alas variables para el tiempo de calentamiento
    MOVF    DIG0,W
    MOVWF   V_TCAL
    SWAPF   DIG1,W
    IORWF   V_TCAL,F
    RETURN
,*****
;DATO PARA LA TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO
;NO PUEDEN SER MAYORES A 69 POR ESO ESTA PARTE ESPECIAL
;PARA INGRESAR ESTA INFORMACIÓN
,*****
DATOS_CRY                                     ; este dato es para un mínimo de -70°C
    CLRF    DIG0
    CLRF    DIG1
    CLRF    DIG2
A_CRY CALL    KEY_SCAN
DATOS_0
    CALL    KEY_ALFAA
    MOVF    TECLA,W
    SUBLW  0X80
    BTFSC  STATUS,Z
    GOTO   A_CRY
    MOVF    TECLA,W
    SUBLW  0X0A
    BTFSC  STATUS,Z
    GOTO   FIN_CRY
    MOVF    DIG0,W
    MOVWF   DIG1
    MOVF    TECLA,W
    MOVWF   DIG0
    MOVF    DIG1,W
    SUBLW  0X07
    BTFSC  STATUS,Z
    GOTO   K_CRY1
    MOVF    DIG1,W
    SUBLW  08H
    BTFSC  STATUS,Z

```

```

        GOTO      K_CRY
        MOVF      DIG1,W
        SUBLW    09H
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO      K_CRY
KA_CRY
        MOVF      DIG0,W
        MOVWF    TMP_ENTR
        CALL     HEXTOASCII
        MOVF      TMP_SAL,W
        MOVWF    BUFFMSG1+D'8'
        MOVF      DIG1,W
        MOVWF    TMP_ENTR
        CALL     HEXTOASCII
        MOVF      TMP_SAL,W
        MOVWF    BUFFMSG1+D'7'
        CALL     OUT_MSG_3
KL_CRY
        CALL     KEY_SCAN
        MOVF      TECLA,W
        SUBLW    0X80
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO      KL_CRY
        MOVF      TECLA,W
        SUBLW    0AH
        BTFSS    STATUS,Z
        GOTO      DATOS_0
FIN_CRY
        CLRF     DIG2
        RETURN
K_CRY
        CLRF     DIG0
        CLRF     DIG1
        GOTO     KA_CRY
K_CRY1
        MOVF      DIG0,W
        SUBLW    0X00
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO     KA_CRY      ;W=0
        GOTO     K_CRY
;*****
;EL DATO PARA EL TIEMPO
;                MÁXIMO 20 MINUTOS
;*****
DATOS_T
        CLRF     DIG0
        CLRF     DIG1
A4      CALL     KEY_SCAN
        CALL     KEY_ALFA
        MOVF      TECLA,W
        SUBLW    0X80
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO     A4
        MOVF      TECLA,W
        SUBLW    0X0A
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO     FIN_01
        MOVF      DIG0,W
        MOVWF    DIG1
        MOVF      TECLA,W
        MOVWF    DIG0
        MOVF      DIG1,W      ;DIG1 <= 2 SIGE SI NO SALTA A KN
        SUBLW    0X02

```

```

        BTFSS      STATUS,C
        GOTO      KN
        MOVF      DIG1,W
        SUBLW    0X00
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO      KA
        MOVF      DIG1,W
        SUBLW    0X01
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO      KA
        MOVF      DIG0,W
        SUBLW    0X00
        BTFSS    STATUS,Z
        GOTO      KN
KA      MOVF      DIG0,W
        MOVWF    TMP_ENTR
        CALL    HEXTOASCII
        MOVF      TMP_SAL,W
        MOVWF    BUFFMSG1+D'7'
        MOVF      DIG1,W
        MOVWF    TMP_ENTR
        CALL    HEXTOASCII
        MOVF      TMP_SAL,W
        MOVWF    BUFFMSG1+D'6'
        CALL    OUT_MSG_3
        CALL    DELAY20
KK      CALL    KEY_SCAN
        MOVF      TECLA,W
        SUBLW    0X80
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO      KK
        MOVF      TECLA,W
        SUBLW    0X0A
        BTFSS    STATUS,Z
        GOTO      A4
FIN_01 MOVLW    0X00
        SUBWF    DIG1,W
        BTFSS    STATUS,Z
        GOTO      F_TIME
        MOVLW    0X00
        SUBWF    DIG0,W
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO      A4
F_TIME RETURN
KN      CLRF      DIG0
        CLRF      DIG1
        GOTO      KA
;*****
;DATO PARA TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO
;*****
DATOS_CAL
        CLRF      DIG0
        CLRF      DIG1
        CLRF      DIG2
A3      CALL    KEY_SCAN
DATOS_1
        CALL    KEY_ALFA
        MOVF      TECLA,W
        SUBLW    0X80
        BTFSC    STATUS,Z
        GOTO      A3
        MOVF      TECLA,W

```



	SUBLW	0X0A
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	FIN_1
	MOVF	TECLA,W
	SUBLW	0X0B
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL
	MOVF	DIG1,W
	MOVWF	DIG2
	MOVF	DIG0,W
	MOVWF	DIG1
	MOVF	TECLA,W
	MOVWF	DIG0
	MOVF	DIG2,W
	SUBLW	0X03
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL1
	MOVF	DIG2,W
	SUBLW	0X04
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL
	MOVF	DIG2,W
	SUBLW	0X05
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL
	MOVF	DIG2,W
	SUBLW	0X06
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL
	MOVF	DIG2,W
	SUBLW	0X07
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL
	MOVF	DIG2,W
	SUBLW	0X08
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL
	MOVF	DIG2,W
	SUBLW	0X09
	BTFSC	STATUS,Z
	GOTO	K_CAL
KA_CAL		
	MOVF	DIG0,W
	MOVWF	TMP_ENTR
	CALL	HEXTOASCII
	MOVF	TMP_SAL,W
	MOVWF	BUFFMSG1+D'8'
	MOVF	DIG1,W
	MOVWF	TMP_ENTR
	CALL	HEXTOASCII
	MOVF	TMP_SAL,W
	MOVWF	BUFFMSG1+D'7'
	MOVF	DIG2,W
	MOVWF	TMP_ENTR
	CALL	HEXTOASCII
	MOVF	TMP_SAL,W
	MOVWF	BUFFMSG1+D'6'
	CALL	OUT_MSG_3
KL	CALL	KEY_SCAN
	MOVF	TECLA,W
	SUBLW	0X80
	BTFSC	STATUS,Z

```

        GOTO      KL
        MOVF     TECLA,W
        SUBLW   0X0A
        BTFSS   STATUS,Z
        GOTO    DATOS_1
FIN_1  MOVLW   0X00
        SUBWF   DIG2,W
        BTFSS   STATUS,Z
        GOTO    F_CALEN
        MOVLW   0X00
        SUBWF   DIG1,W
        BTFSS   STATUS,Z
        GOTO    F_CALEN
        MOVLW   0X00
        SUBWF   DIG0,W
        BTFSC   STATUS,Z
        GOTO    A3
F_CALEN
        RETURN
K_CAL  CLRF    DIG0
        CLRF    DIG1
        CLRF    DIG2
        GOTO    KA_CAL
K_CAL1
        MOVF    DIG1,W
        SUBLW   0X00
        BTFSS   STATUS,Z
        GOTO    K_CAL
        MOVF    DIG0,W ;W=0
        SUBLW   0X00
        BTFSS   STATUS,Z
        GOTO    K_CAL
        GOTO    KA_CAL ;W=0
;*****
;  R E T A R D O S      ***** RETARDO DE 21.2 MICROSEG. @ 20MHz
;*****
RETARDO
        MOVLW   ON_DELAY
        SUBLW   NO_DELAY
        BTFSC   STATUS,Z
        RETURN
        BANK1
        MOVLW   0X20
        MOVWF   DELAYL
DECRE  DECFSZ  DELAYL,r
        GOTO    DECRE
        BANK0
        RETLW  0
;*****
;
;      RETARDO VARIABLE O 100ms EXACTO PARA 20MHz
;*****
DELAY_1
        MOVLW   ON_DELAY
        SUBLW   NO_DELAY
        BTFSC   STATUS,Z
        RETURN
        BANK1
        MOVLW   0X05
        MOVWF   DELAYH
MASS   MOVLW   D'100'
        MOVWF   DELAYM
MAS4   MOVLW   D'250'

```

```

MAS3  MOVWF      DELAYL
      NOP
      DECFSZ    DELAYL,F
      GOTO      MAS3
      DECFSZ    DELAYM,F
      GOTO      MAS4
      DECFSZ    DELAYH,F
      GOTO      MASS
      BANK0
      RETURN
;*****
;      R U T I N A S  D E  R E T A R D O
;*****
DELAY255
      MOVLW    D'255'
      GOTO     D0
DELAY100
      MOVLW    D'100'
      GOTO     D0
DELAY50
      MOVLW    D'50'
      GOTO     D0
DELAY25
      MOVLW    D'25'
      GOTO     D0
DELAY20
      MOVLW    D'20'
      GOTO     D0
DELAY10
      MOVLW    D'10'
      GOTO     D0
DELAY5
      MOVLW    0X05
D0    BANK1
      MOVWF    DELAYH
D1    MOVLW    0XE7
      MOVWF    DELAYM
      MOVLW    0X04
      MOVWF    DELAYL
DELAY_0
      DECFSZ   DELAYM,F
      GOTO     $+2
      DECFSZ   DELAYL,F
      GOTO     DELAY_0
      DECFSZ   DELAYH,F
      GOTO     D1
      BANK0
      RETURN
;*****
;      S U B R U T I N A S  Y  T A B L A S  D E  T E X T O  ;
;*****
; INICIALIZA LCD
INILCD4
      CALL     DELAY25
      MOVLW    0X30
      CALL     CONTROL4
      CALL     DELAY25           ; 15mseg queda con este tiempo
      MOVLW    0X38           ; 20H
      CALL     CONTROL4
      CALL     DELAY25
      MOVLW    0X38           ; 0AH
      CALL     CONTROL4

```

```

CALL      DELAY25
MOVLW    0X38                ;01H
CALL     CONTROL4
CALL     DELAY25
MOVLW    0X28
CALL     CONTROL4
MOVLW    0X06
CALL     CONTROL4
MOVLW    0X0C                ;0EH
CALL     CONTROL4
RETURN
CONTROL4
  BCF     RS_LCD
  GOTO    DATO_2
DATO_0
  BSF     RS_LCD
DATO_2
  BSF     E_LCD
  MOVWF  TEMPLCD1
  MOVF   PORTD,W             ; Guardo el dato que tiene la parte
  BANK1
  MOVWF  G_PORTD            ; Baja del puerto d para que no se pierda
  ANDLW  0X0F                ; y para que no se altere cuando mande el
  MOVWF  G_PORTD            ; dato al LCD
  BANK0
  MOVF   TEMPLCD1,W
  ANDLW  0XF0
  MOVWF  TEMPLCD2
  BANK1
  MOVF   G_PORTD,W          ; Junto la parte alta y baja del puerto d
  BANK0
  IORWF  TEMPLCD2,W        ; Pero sin alteraciones y lleva el dato a utilizar
  MOVWF  PORTD
  CALL   RETARDO            ; Retardo de 21.2 microseg. @ 20MHz
  BCF    E_LCD
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  NOP
  BSF    E_LCD
  MOVF   PORTD,W           ; Guardo el dato que tiene la parte
  BANK1
  MOVWF  G_PORTD            ; Baja del puerto d para que no se pierda
  ANDLW  0X0F                ; y para que no se altere cuando mande el
  MOVWF  G_PORTD            ; dato al LCD
  BANK0
  SWAPF  TEMPLCD1,W
  ANDLW  0XF0
  MOVWF  TEMPLCD1
  BANK1
  MOVF   G_PORTD,W          ; Junto la parte alta y baja del puerto d
  BANK0
  IORWF  TEMPLCD1,W        ; Pero sin alteraciones y lleva el dato a utilizar
  MOVWF  PORTD

```

```

        BCF          E_LCD
        CALL         RETARDO
        RETLW 0
SALIDAD
        ADDLW       0X30
SALIDA_LCD
        CALL         DATO_0
        CALL         DELAY5
        RETURN
ESCRIBEMSG
        CALL         TABLASMMSG
        SUBLW       0XFF
        BTFSC       STATUS,Z
        RETURN
        SUBLW       0XFF
        CALL         SALIDA_LCD
        INCF        PLCDL,F
        GOTO        ESCRIBEMSG
        INCF        PLCDH,F
        GOTO        ESCRIBEMSG
TABLASMMSG
        MOVF        PLCDH,W
        MOVWF       PCLATH
        MOVF        PLCDL,W
        MOVWF       PCL
TEXT  DT          " CARGANDO ",0XFF
TEXT1 DT          " PROCESO ",0XFF
TEXT2 DT          " Tiempo de ",0XFF
TEXT3 DT          " Temperatura de ",0XFF
TEXT4 DT          " enfriado ",0XFF
TEXT5 DT          " calentamiento ",0XFF
TEXT6 DT          " E M P E Z A R ",0XFF
TEXT7 DT          " A E N F R I A R ",0XFF
TEXT10 DT         " CUAL? ",0XFF
TEXT11 DT         " F1 F2 F3 F4 ",0XFF
TEXT13 DT         "*** ",0XFF
TEXT14 DT         " ** ",0XFF
TEXT15 DT         " ** ",0XFF
TEXT16 DT         " ** ",0XFF
TEXT17 DT         " ** ",0XFF
TEXT18 DT         " ** ",0XFF
TEXT19 DT         " ** ",0XFF
TEXT20 DT         " ** ",0XFF
TEXT21 DT         " ",0XFF
TEXT22 DT         " Enfriando... ",0XFF
TEXT23 DT         " Calentando... ",0XFF
;*****
;SALIDA AL LCD CONSTANTE AL SEGUNDO RENGLÓN
;*****
OUT_MSG
        MOVLW      0XC0                ; se coloca el cursor al inicio de segundo renglón lado
        CALL       CONTROL4           ; izquierdo de la AND_491
        MOVLW      BUFFMSG
        MOVWF      FSR
OUT_LCD
        MOVLW      0X10
        MOVWF      BETA
CICLO MOVF        INDF,W
        CALL       DATO_0              ; DATO
        CALL       RETARDO
        INCF      FSR,F
        DECF      BETA,F

```

```

GOTO      CICLO
RETURN
;*****
;Salida constante al LCD en el tercer renglón funcionando
;*****
OUT_MSG_3
    MOVLW      0X90      ;se coloca el cursor al inicio del tercer renglón lado izquierdo de la AND_491
    CALL       CONTROL4      ; CONTROL
    MOVLW      BUFFMSG1
    MOVWF      FSR
    MOVLW      0X10
    MOVWF      BETA

CICLO_3
    MOVF       INDF,W
    CALL       DATO_0      ; DATO
    CALL       RETARDO
    INCF       FSR,F
    DECFSZ     BETA,F
    GOTO       CICLO_3
    RETURN
;*****
;                               S C A N   E L   T E C L A D O
;*****
KEY_SCAN
    MOVLW      4
    MOVWF      KEY_1
    CLRF       TECLA
    MOVLW      0X0E      ; 0000 1110
    MOVWF      KEY_2

SCAN_1
    MOVF       KEY_2,W
    MOVWF      PORTB
    CALL       RETARDO

SCAN_COL
    BTFSS     PORTB,4
    GOTO       ANTIREBOTE
    INCF      TECLA,F
    BTFSS     PORTB,5
    GOTO       ANTIREBOTE
    INCF      TECLA,F
    BTFSS     PORTB,6
    GOTO       ANTIREBOTE
    INCF      TECLA,F
    BTFSS     PORTB,7
    GOTO       ANTIREBOTE
    INCF      TECLA,F
    BSF       STATUS,C
    RLF       KEY_2,F
    DECFSZ    KEY_1,F
    GOTO       SCAN_1
    MOVLW     0X80
    GOTO       VOLVER

ANTIREBOTE
    NOP
    NOP
    BTFSS     PORTB,4
    GOTO       ANTIREBOTE

ESPERA1
    NOP
    NOP
    BTFSS     PORTB,5
    GOTO       ESPERA1

```

```

ESPERA2
    NOP
    NOP
    BTFSS      PORTB,6
    GOTO      ESPERA2
ESPERA3
    NOP
    NOP
    BTFSS      PORTB,7
    GOTO      ESPERA3
    MOVF      TECLA,W
VOLVER
    MOVWF     TECLA
    CALL     DELAY50
    RETURN

```

```

,*****
;VERIFICA SI LA TECLA ES VALIDA
,*****

```

```

KEY_ALFA
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0B
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FIN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0C
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FIN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0D
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FIN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0E
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FIN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0F
    BTFSS     STATUS,Z
    GOTO      FIN_2
FIN    MOVLW   0X80
    MOVWF    TECLA
FIN_2  RETURN

```

```

,*****
KEY_ALFAA

```

```

    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0B
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FINN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0C
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FINN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0D
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FINN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0E
    BTFSC     STATUS,Z
    GOTO      FINN
    MOVF      TECLA,W
    SUBLW     0X0F

```

```

        BTFSS      STATUS,Z
        GOTO      FIN_22
FINN    MOVLW     0X80
        MOVWF     TECLA
FIN_22  RETURN
;*****
;
;          CONVIERTE DE HEXADECIMAL A ASCII
;*****
HEXTOASCII
        MOVLW     0X0A
        SUBWF     TMP_ENTR,W
        BTFSS     STATUS,Z
        GOTO     NOCER
NOCER   BTFSS     STATUS,C
        GOTO     MENOR
        GOTO     MAYOR
MENOR   MOVLW     0X30
SUMAA   ADDWF     TMP_ENTR,W
        MOVWF     TMP_SAL
        RETURN
MAYOR   MOVLW     0X37
        GOTO     SUMAA
;*****
;
;          CONVIERTE DE HEXADECIMAL A DECIMAL
;*****
HEX_TO_DEC16
        BANK1
        MOVLW     D'16'
        MOVWF     CONTHD
        CLRF     DECL
        CLRF     DECM
        CLRF     DECH
XX      BCF       STATUS,C
        RLF      HEXL,F
        RLF      HEXH,F
        RLF      DECL,F
        RLF      DECM,F
        RLF      DECH,F
        DECFSZ   CONTHD,F
        GOTO     SIGUE
        BANK0
        RETURN
SIGUE   MOVF      DECL,W
        ANDLW    0X0F
        SUBLW    0X04
        BTFSC    STATUS,C
        GOTO     SKIP1
        MOVLW    0X03
        ADDWF    DECL,F
SKIP1   MOVF      DECL,W
        ANDLW    0XF0
        SUBLW    0X40
        BTFSC    STATUS,C
        GOTO     SKIP2
        MOVLW    0X30
        ADDWF    DECL,F
SKIP2   MOVF      DECM,W
        ANDLW    0X0F
        SUBLW    0X04

```



```

        BTFSC      STATUS,C
        GOTO      SKIP3
        MOVLW     0X03
        ADDWF     DECM,F
SKIP3   MOVF      DECM,W
        ANDLW     0XF0
        SUBLW     0X40
        BTFSC      STATUS,C
        GOTO      XX
        MOVLW     0X30
        ADDWF     DECM,F
        GOTO      XX
;*****
;
;          CONVIERTE DE DECIMAL A HEXADECIMAL
;*****
DEC_TO_HEX16
        BANK1
        MOVLW     D'16'
        MOVWF     CONTHD
        CLR      HEXL
        CLR      HEXH
X_X    BCF      STATUS,C
        RRF      DECIH,F
        RRF      DECIM,F
        RRF      DECIL,F
        RRF      HEXH,F
        RRF      HEXL,F
        DECFSZ   CONTHD,F
        GOTO     CONTINUA
        BANK0
        RETURN
CONTINUA
        MOVF      DECIL,W
        ANDLW     0X0F
        SUBLW     0X04
        BTFSC      STATUS,C
        GOTO     SKIP_1
        MOVLW     0X03
        SUBWF     DECIL,F
SKIP_1 MOVF      DECIL,W
        ANDLW     0XF0
        SUBLW     0X40
        BTFSC      STATUS,C
        GOTO     SKIP_2
        MOVLW     0X30
        SUBWF     DECIL,F
SKIP_2 MOVF      DECIM,W
        ANDLW     0X0F
        SUBLW     0X04
        BTFSC      STATUS,C
        GOTO     SKIP_3
        MOVLW     0X03
        SUBWF     DECIM,F
SKIP_3 MOVF      DECIM,W
        ANDLW     0XF0
        SUBLW     0X40
        BTFSC      STATUS,C
        GOTO     X_X
        MOVLW     0X30
        SUBWF     DECIM,F
        GOTO     X_X

```

```

;*****
; Da la señal PWM CRY. E N F R I A R
;*****
ORG 0X1000
CICLO_CRY
MOVF SET_POINT_CRYL,W
SUBWF TEMPORALL,W ;F-W-->DESTINO TEMPORALL - SET_POINT_CRYL
MOVWF ERRO_R_L
MOVLW 0X00
BTFSS STATUS,C
MOVLW 0X01
SUBWF TEMPORALH,W
MOVWF ERRO_R_H
BTFSS STATUS,C ;RESUL = 0 ó +
GOTO CICL_0 ;RESUL = (-)
MOVF ERRO_R_H,W
SUBLW 0X00
BTFSS STATUS,Z
RETURN
;*****
;PREGUNTA CUANTO ES LA DIFERENCIA Y CARGA EL VALOR CORRESPONDIENTE
;DEL CICLO DE TRABAJO QUE CORRESPONDA
;*****
BTFSC DECISION5
GOTO LOOPCRY
MOVLW 0X0A
SUBWF ERRO_R_L,W
BTFSS STATUS,C
GOTO CICL_00
LOOPCRY
MOVLW 0X00
SUBWF ERRO_R_L,W
BTFSC STATUS,Z
GOTO CICL_0
MOVLW 0X04
MOVWF ENE
CALL MULTIPP
MOVF ERRO_R_L,W
SUBWF SUMA,W
BTFSS STATUS,C
GOTO CICL_5
CALL MULTIP_2
MOVF ERRO_R_L,W
SUBWF SUMA,W
BTFSC STATUS,C
GOTO CICL_5
CALL MULTIP_2
MOVF ERRO_R_L,W
SUBWF SUMA,W
BTFSC STATUS,C
GOTO CICL_5
CALL MULTIP_2
MOVF ERRO_R_L,W
SUBWF SUMA,W
BTFSC STATUS,C
GOTO CICL_5
CALL MULTIP_2
MOVF ERRO_R_L,W
SUBWF SUMA,W
BTFSC STATUS,C
GOTO CICL_10
CALL MULTIP_2

```



BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_15
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_20
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_25
MOVLW	0X08
MOVWF	ENE
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_30
MOVLW	0X0A
MOVWF	ENE
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_35
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_40
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_45
MOVLW	0X0C
MOVWF	ENE
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_50
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_55
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_60
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W
SUBWF	SUMA,W
BTFSC	STATUS,C
GOTO	CICL_65
MOVLW	0X0F
MOVWF	ENE
CALL	MULTIP_2
MOVF	ERRO_R_L,W

```

SUBWF      SUMA,W
BTFSC     STATUS,C
GOTO      CICL_70
CALL      MULTIP_2
MOVF      ERRO_R_L,W
SUBWF     SUMA,W
BTFSC     STATUS,C
GOTO      CICL_75
CALL      MULTIP_2
MOVF      ERRO_R_L,W
SUBWF     SUMA,W
BTFSC     STATUS,C
GOTO      CICL_80
CALL      MULTIP_2
MOVF      ERRO_R_L,W
SUBWF     SUMA,W
BTFSC     STATUS,C
GOTO      CICL_85
MOVLW    0X14
MOVWF     ENE
CALL      MULTIP_2
MOVF      ERRO_R_L,W
SUBWF     SUMA,W
BTFSC     STATUS,C
GOTO      CICL_90
GOTO      CICL_100
MULTIPP
MOVF      ENE,W
MOVWF     SUMA
RETURN
MULTIP_2
MOVF      ENE,W
ADDWF    SUMA,F
RETURN
CICL_100
MOVLW    D'200'           ;CICLO DE TRABAJO DEL 100%
MOVWF    CICTRA_CRY
RETURN
CICL_90
MOVLW    D'180'           ;CICLO DE TRABAJO DEL 90%
MOVWF    CICTRA_CRY
RETURN
CICL_80
MOVLW    D'160'           ;CICLO DE TRABAJO DEL 80%
MOVWF    CICTRA_CRY
RETURN
CICL_70
MOVLW    D'140'           ;CICLO DE TRABAJO DEL 70%
MOVWF    CICTRA_CRY
RETURN
CICL_60
MOVLW    D'120'           ;CICLO DE TRABAJO DEL 60%
MOVWF    CICTRA_CRY
RETURN
CICL_50
MOVLW    D'100'           ;CICLO DE TRABAJO DEL 50%
MOVWF    CICTRA_CRY
RETURN
CICL_40
MOVLW    D'80'            ;CICLO DE TRABAJO DEL 40%
MOVWF    CICTRA_CRY
RETURN

```

```

CICL_30
    MOVLW    D'60'                ;CICLO DE TRABAJO DEL 30%
    MOVWF    CICTRA_CRY
    RETURN

CICL_20
    MOVLW    D'40'                ;CICLO DE TRABAJO DEL 20%
    MOVWF    CICTRA_CRY
    RETURN

CICL_10
    MOVLW    D'20'                ;CICLO DE TRABAJO DEL 10%
    MOVWF    CICTRA_CRY
    RETURN

CICL_0
    MOVLW    D'1'                 ;CICLO DE TRABAJO DEL 0%
    MOVWF    CICTRA_CRY
    BSF      DECISION5
    RETURN

CICL_00
    MOVLW    D'1'                 ;CICLO DE TRABAJO DEL 0%
    MOVWF    CICTRA_CRY
    RETURN

;*****
;Parte del programa que proporciona el ciclo de trabajo
;de la señal PWM CAL.      C      A      L      E      N      T      A      R.
;*****
;
;    ORG      0X10A0
CICLO_CAL
    BTFSS    SIGNO
    RETURN
    MOVF     TEMPORALL,W
    SUBWF    SET_POINT_CALL,W      ;F-W --> DESTINO
    MOVWF    ERRO_R_L
    MOVF     TEMPORALH,W
    BTFSS    STATUS,C
    INCFSZ   TEMPORALH,W
    SUBWF    SET_POINT_CALH,W      ;F-W --> DESTINO
    MOVWF    ERRO_R_H
    BTFSS    STATUS,C      ;RESUL = 0 o +      C=1 (+,0) C=0 (-)      ;C=0 (-)
    GOTO     CICLO0      ;RESUL = (-)
;*****

    BTFSC    DECISION4
    GOTO     LOOPCAL
    MOVLW    0X0A
    SUBWF    ERRO_R_L,W
    BTFSS    STATUS,C
    GOTO     CICLO_C

LOOPCAL
    MOVLW    0X02
    MOVWF    ENE
    CALL     MULTIPP
    MOVF     ERRO_R_L,W
    SUBWF    SUMA,W
    BTFSS    STATUS,C
    GOTO     $+6
    MOVF     ERRO_R_L,W
    SUBLW    0X00
    BTFSS    STATUS,Z
    GOTO     CICLO10
    GOTO     CICLO05
    CALL     MULTIP_2
    MOVF     ERRO_R_L,W
    SUBWF    SUMA,W

```

BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO20	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO20	
MOVLW	0X07	
MOVWF	ENE	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO30	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO40	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO30	
MOVLW	0X0A	
MOVWF	ENE	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO50	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO60	
MOVLW	0X0C	
MOVWF	ENE	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO70	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO80	
MOVLW	0X17	
MOVWF	ENE	
CALL	MULTIP_2	
MOVF	ERRO_R_L,W	
SUBWF	SUMA,W	
BTFSC	STATUS,C	
GOTO	CICLO90	
GOTO	CICLO100	
CICLO100		
MOVLW	D'1'	
MOVWF	CICTRA_CRY	
MOVLW	D'200'	;CICLO DE TRABAJO DEL 100%
MOVWF	CICTRA_CAL	
RETURN		

```

CICLO90
    MOVLW    D'180'    ;CICLO DE TRABAJO DEL 90%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO80
    MOVLW    D'160'    ;CICLO DE TRABAJO DEL 80%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO70
    MOVLW    D'140'    ;CICLO DE TRABAJO DEL 70%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO60
    MOVLW    D'120'    ;CICLO DE TRABAJO DEL 60%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO50
    MOVLW    D'100'    ;CICLO DE TRABAJO DEL 50%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO40
    MOVLW    D'80'     ;CICLO DE TRABAJO DEL 40%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO30
    MOVLW    D'60'     ;CICLO DE TRABAJO DEL 30%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO20
    MOVLW    D'40'     ;CICLO DE TRABAJO DEL 20%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO10
    MOVLW    D'20'     ;CICLO DE TRABAJO DEL 10%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN
CICLO0
    MOVLW    D'1'      ;CICLO DE TRABAJO DEL 0%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    BSF     DECISION4
    RETURN
CICLO_C
    MOVLW    D'1'      ;CICLO DE TRABAJO DEL 0%
    MOVWF   CICTRA_CAL
    RETURN

```

\*\*\*\*\*

```

;      ORG    0X11C8
PROMEDIO
BURBUJA16
    BANK1
    MOVLW    BUFF_ADC
    MOVWF   PUNTERO_MIN
    MOVLW    n-1
    MOVWF   CONT_VUELTA
B6     MOVF   PUNTERO_MIN,W
    ADDLW   0X02
    MOVWF   PUNTERO_ADC
    MOVF   CONT_VUELTA,W
    MOVWF   CONT_ADC
B5     MOVF   PUNTERO_MIN,W
    MOVWF   FSR
    MOVF   INDF,W
    MOVWF   TMP
    MOVF   PUNTERO_ADC,W

```



```

MOVWF    FSR
MOVF     INDF,W
SUBWF    TMP,W
BTFSS   STATUS,Z           ;      ¿W=TMP?
GOTO     B1                ;      NO
INCF     PUNTERO_MIN,F     ;      SI
INCF     PUNTERO_ADC,F
MOVF     PUNTERO_MIN,W
MOVWF    FSR
MOVF     INDF,W
MOVWF    TMP
MOVF     PUNTERO_ADC,W
MOVWF    FSR
MOVF     INDF,W
SUBWF    TMP,W           ;      ¿W=TMP?  ¿W>TMP?
BTFSC   STATUS,Z
GOTO     B2
BTFSS   STATUS,C
GOTO     B2
;*****
DEC_PUNT
  DECF   PUNTERO_MIN,F
  DECF   PUNTERO_ADC,F
SKIP_DEC_PUNT
  MOVF   PUNTERO_MIN,W
  MOVWF  FSR
  MOVF   INDF,W
  MOVWF  TMP
  MOVF   PUNTERO_ADC,W
  MOVWF  FSR
  MOVF   INDF,W
  MOVWF  TEMP_2
  MOVF   TMP,W
  MOVWF  INDF
  MOVF   PUNTERO_MIN,W
  MOVWF  FSR
  MOVF   TEMP_2,W
  MOVWF  INDF
  INCF   PUNTERO_MIN,F
  INCF   PUNTERO_ADC,F
  MOVF   PUNTERO_MIN,W
  MOVWF  FSR
  MOVF   INDF,W
  MOVWF  TMP
  MOVF   PUNTERO_ADC,W
  MOVWF  FSR
  MOVF   INDF,W
  MOVWF  TEMP_2
  MOVF   TMP,W
  MOVWF  INDF
  MOVF   PUNTERO_MIN,W
  MOVWF  FSR
  MOVF   TEMP_2,W
  MOVWF  INDF
B2      INCF   PUNTERO_ADC,F
B3      DECF   PUNTERO_MIN,F
        DECF   CONT_ADC,F
        GOTO   B5                ;      NO
        DECF   CONT_VUELTA,F    ;      SI
        GOTO   BN
        GOTO   PROMEDIO16       ; FIN DE BURBUJA
B1      BTFSC  STATUS,C         ;      ¿C>TMP?

```

```

        GOTO      SKIP_DEC_PUNT
        INCF      PUNTERO_ADC,F
        INCF      PUNTERO_ADC,F
        GOTO      B3
BN      INCF      PUNTERO_MIN,F
        INCF      PUNTERO_MIN,F
        GOTO      B6
,*****
,PROMEDIO16
,*****
        MOVLW     n-2
        MOVWF     CONT_VUELTA
        MOVLW     BUFF_ADC+3
        MOVWF     FSR
PROM1   MOVF      INDF,W
        ADDWF     PROML,F
        BTFSC    STATUS,C
        INCF     PROMH,F
        DECF     FSR,F
        MOVF     INDF,W
        ADDWF     PROMH,F
        MOVLW     0X03
        ADDWF     FSR,F
        DECFSZ   CONT_VUELTA,F
        GOTO     PROM1
        MOVLW     0X03
        MOVWF     CONT_VUELTA
PROM2   BCF      STATUS,C
        RRF      PROMH,F
        RRF      PROML,F
        DECFSZ   CONT_VUELTA,F
        GOTO     PROM2
        RETURN
        END

```

## BIBLIOGRAFÍA

- ❖ La contaminación atmosférica en México sus causas y efectos en la salud.  
Comisión Nacional de Derechos Humanos.
- ❖ Methods of Air Sampling and Analysis  
Third Edition.  
James P. Lodge Jr. Editor, 1998.  
Lewis Publishers
- ❖ Chemical Instrumentation: A Systematic Approach  
Third Edition  
Howard A. Strobel  
William R. Heineman  
Ed. John Wiley & Sons
- ❖ Métodos Instrumentales de Análisis  
Hobart H. Willard  
Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México, 1999.
- ❖ Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales  
Coughlin, Robert y Driscoll, Federico  
Editorial Prentice Hall Pearson. Quinta Edición, 1999.
- ❖ Optoelectronics  
Device data, Motorota.  
National Operacional, Amplifiers Databook  
National Semiconductor, 1993.
- ❖ Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones.  
Segunda parte: PIC16F87X  
Angulo, J. Ma., Romero, S. y Angulo, I.  
Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2ª edición, España, 2000
- ❖ Ingeniería de control moderna.  
Tercera edición.  
Ogata, Katsuhiko.  
Editorial Prentice Hall, Hispanoamericana, 1998.
- ❖ Dinámica de sistemas y control.  
Eronini, Umez, Eronini  
Editorial Thomson Learning, 2001.
- ❖ Ingeniería de control.  
Bolton, W  
Editorial Alfaomega, Segunda edición, 2001

- ❖ Temperatura sensors & instruments.  
Bulletin-102(H)  
Minco, Products, INC.
  
- ❖ Diseño electrónico, Circuitos y Sistemas.  
Segunda edición.  
C. J. Savant, Jr, Martin S. Roden, Gordon L. Carpenter  
Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, 1992.
  
- ❖ Circuitos Microelectrónicos.  
Cuarta edición  
Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith  
Editorial Oxford, 1999.
  
- ❖ Circuitos electrónicos, análisis, simulación y diseño.  
N. R. Malik.  
Editorial Prentice Hall, 1998.